

**YERLEŞİM ALANLARI İÇERİSİNDE FARKLI
GEOMETRİLERE SAHİP YAPILAR ÜZERİNDE ISI
TRANSFERİ VE AKIŞ YAPILARININ DENEYSEL VE
TEORİK OLARAK İNCELENMESİ**

**DENİZ GÖLBAŞI
DOKTORA TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI
2015**

**T.C.
CUMHURİYET ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YERLEŞİM ALANLARI İÇERİSİNDE FARKLI
GEOMETRİLERE SAHİP YAPILAR ÜZERİNDE ISI TRANSFERİ
VE AKIŞ YAPILARININ DENEYSEL VE TEORİK OLARAK
İNCELENMESİ**

DOKTORA TEZİ

**Deniz GÖLBAŞI
201192092003**

Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı

**Tez Danışmanı
Prof. Dr. Ertan BUYRUK**

**SİVAS
AĞUSTOS, 2015**

DENİZ GÖLBAŞI' nın hazırladığı ve “**Yerleşim Alanları İçerisinde Farklı Geometrilere Sahip Yapılar Üzerinde Isı Transferi ve Akış Yapılarının Deneysel ve Teorik Olarak İncelenmesi**” ” adlı bu çalışma aşağıdaki jüri tarafından **MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**’nda **DOKTORA TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı	: Prof. Dr. Ertan BUYRUK Cumhuriyet Üniversitesi	
Jüri Üyeleri :	Prof. Dr. Beşir ŞAHİN Çukurova Üniversitesi	
	Prof. Dr. Nafiz KAHRAMAN Erciyes Üniversitesi	
	Doç. Dr. Ahmet FERTELLİ Cumhuriyet Üniversitesi	
	Yrd. Doç.Dr. Yavuz TÜRKAY Cumhuriyet Üniversitesi	

Bu tez, Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tarafından **DOKTORA TEZİ** olarak onaylanmıştır.

Prof. Dr. Mustafa DEĞİRMENCİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRÜ

Bu tez, Cumhuriyet Üniversitesi Senatosu'nun 20.08.2014 tarihli ve 7 sayılı kararı ile kabul edilen Fen Bilimleri Enstitüsü Lisansüstü Tez Yazım Kılavuzu (Yönerge)'nda belirtilen kurallara uygun olarak hazırlanmıştır.

Bu tez, Cumhuriyet Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (CÜBAP) Komisyonu tarafından M-531 Nolu proje kapsamında desteklenmiştir.

Bütün hakları saklıdır.
Kaynak göstermek koşuluyla alıntı ve gönderme yapılabilir.

© Deniz GÖLBAŞI, 2015

Yaşamı boyunca içinde bulunduğu anadolu kültürünün tersine, altı kız evlada
sahip olmaktan hep mutluluk duyan, kişiliğı, güçlü karakteri, dürüst ve ilkeli, aydın
yaşam tarzıyla, tükenmez sabrıyla evladı olmaktan onur duyduğum
güzel insan,

Bana yaşadığım her türlü olumsuzluğa rağmen pes etmemeyi, mücadele etmeyi
öğreten, bu mutluluğu benimle paylaşamayacağı için hep üzüntü duyacağım rahmetli
olan Sevgili Babama...

ETİK

Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tez Yazım Kılavuzu (Yönerge)'nda belirtilen kurallara uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- ✓ Bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- ✓ Görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- ✓ Başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere, bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu ve atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- ✓ Bütün bilgilerin doğru ve tam olduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- ✓ Tezin herhangi bir bölümünü, Cumhuriyet Üniversitesi veya bir başka üniversitede, bir başka tez çalışması olarak sunmadığımı; beyan ederim.

.../.../2015

İmza

Deniz GÖLBAŞI

TEŞEKKÜR

Yaşamımızda mütevazı kişiliğiyle, görgüsüyle, yardımseverliğiyle, her daim gülen yüzüyle, gölgesi uzun müstesna insanlar vardır. Varlıkları bizim için çok anlamlıdır. Akademik bilgisiyle ve deneyimleriyle beni daima destekleyen, tezimin her aşamasında yardımlarını esirgemeyen, yokluğunun hiç düşünülemediği saygıdeğer danışman hocam Prof. Dr. Ertan BUYRUK'a çok teşekkür ederim.

Yaşamım boyunca maddi ve manevi her konuda hep yanımda olan, varlıklarıyla yaşam gücümü arttıran tüm aileme; Dualarıyla kendimi her daim güvende hissettiğim kanatsız melek anneme, Fedakâr ve sevgi dolu abim; Mehmet GÖLBAŞI'ya, birbirinden şefkatli anne yarılarım ablalarım Aysel TOPAL'a, Müzeyyen GÖLBAŞI'ya, Serpil Koçbay'a, Serap ÜNALAN'a, Sibel ODABAŞI'na; bana sevgileriyle, fedakârlıklarıyla, bir enişte olmaktan öte birer abi olduklarını hissettiren enişterim; Aziz TOPAL'a, Samet GÖLBAŞI'ya, Yılmaz ODABAŞI'ya, Mustafa ÜNALAN'a, Mehmet KOÇBAY'a; birbirinden yakışıklı ve güzel olan yiğenlerim; Mehmet Ali Topal'a, Ali GÖLBAŞI'ya, Yasin GÖLBAŞI'ya, Erdem TOPAL'a, Yusuf GÖLBAŞI'ya Özlem GÖLBAŞI'ya, Bengisu ÜNALAN'a ve Şahan Rüzgâr ODABAŞI'na, desteklerini ve sevgilerini gördüğüm yengelerim; Nezehat GÖLBAŞI'ya, Makbule GÖLBAŞI'ya ve Harika TOPAL'a; çalışmalarım sırasında yaşadığım stresi hissetmememi sağlayan şirinliğiyle ve tatlı konuşmalarıyla küçük Asya GÖLBAŞI'ya, dostluklarıyla 15 senedir hep destekçim olan güzel dostum Yasemin DURGUN'a, Murat OLCAYTO'ya ve Temuçin OLCAYTO'ya;

Deneyisel çalışmalarım sırasında beni konukseverlikleriyle, kendi üniversitemde olduğum hissini yaşatan babacan tavrıyla, mütevazı kişiliğiyle, bilgi ve deneyimleriyle Prof. Dr. Beşir Şahin'e, beni destekleyen Prof. Dr. Hüseyin AKILLI'ya, yardımları ve deneyimlerini benden esirgemeyen Arş Gör. Erhan FIRAT'a, Arş Gör. Veli ÖZBOLAT'a çok teşekkür ederim.

Bu tez çalışması süresince desteklerini esirgemeyen Teknoloji Fakültesi Dekanı Prof. Dr. Orhan TATAR'a, Dekan Yardımcısı Doç Dr. Turhan KURŞUN'a Mimarlık Fakültesi Dekanı sevgili arkadaşım Prof. Dr. Meltem Cebeci SARIOĞLU'na, desteğiyle, bana yol göstermesiyle sevgili ablam Fakülte sekreteri Nezihe MUT'a sevgileriyle beni destekleyen Teknoloji Fakültesi çalışanlarında İbrahim ERDOĞAN'a, tüm idari ve akademik personel arkadaşlarıma, yardımını hiçbir zaman esirgemeyen öğretim üyelerinden değerli çalışma arkadaşlarım Yrd.

Doç. Dr. Doğan Engin ALNAK'a, PIV konusunda yardımını esirgemeyen Yrd. Doç Dr. Cahit GÜRLEK'e ve Yrd. Doç Dr. Ümit Nazlı Temel'e, Makine Mühendisliğinde beraber yola çıktığımız değerli arkadaşım Arş. Gör. Koray KARABULUT a, sayısal çalışmalarda yardımlarından dolayı Doç. Dr. Ahmet FERTELLİ'ye, Mehmet BALTA'ya, destekleriyle Prof. Dr. Kenan KOSER'e, ve Yrd. Doç. Dr. Yavuz TÜRKAY'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Bu çalışma, Cumhuriyet Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri birimi tarafından M-531 numaralı projeyle desteklenmiştir.

ÖZET

YERLEŞİM ALANLARI İÇERİSİNDE FARKLI GEOMETRİLERE SAHİP YAPILAR ÜZERİNDE ISI TRANSFERİ VE AKIŞ YAPILARININ DENEYSEL VE TEORİK OLARAK İNCELENMESİ

Deniz GÖLBAŞI

Doktora Tezi

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Ertan BUYRUK

2015, 176+xxii sayfa

Bu çalışmada, değişik tipteki bina modelleri etrafındaki akışın deneysel ve sayısal olarak kapsamlı olarak araştırılması planlanmıştır. Çalışma kapsamında, rüzgar karakteristikleri ile bina üzerindeki hız dağılımı arasında bir korelasyonun oluşturulması, ayrılmış akış bölgeleri arasındaki ilişkinin incelenmesi, uygulamada karşılaşılan olumsuzlukların önlenmesine yönelik uygun bina geometrilerinin oluşturulması, binalar arasındaki mesafelerin belirlenmesi ve binaların birbirine göre konumlandırılması konularında kullanılabilecek deneysel verilerin belirlenmesi amaçlanmıştır.

Çalışmanın deneysel kısmında, dört farklı bina modeli etrafındaki akış yapısı, kapalı devre açık yüzeyli su kanalında Parçacık Görüntülemeli Hız Ölçüm Tekniği (PIV) kullanılarak incelenmiştir. Bina modelleri olarak 5cmx5cmx5cm boyutlarında çatısız, 5x5x5cm boyutlarında 30° eğime sahip çatılı, 5cmx10cmx5cm boyutlarında 30° eğime sahip çatılı, 10cmx5cmx5cm boyutlarında 30° eğime sahip çatılı modeller kullanılmıştır. Bu bina modelleri üzerinde belirli düzlemde ortalama hız dağılımları, akım çizgileri ve girdap eş düzey eğrileri tek bina yerleşim durumuna, ikili bina yerleşim durumuna ve üçlü çapraz bina yerleşim durumuna göre incelenmiştir. Deneysel çalışma sonucunda, bina modelleri arka bölgelerinde saat yönünde ve saatin tersi yönünde girdapların olduğu, bina modellerinin değişimine bağlı olarak girdap büyüklüklerinin de değiştiği görülmüştür. Bina modelleri yüzeyinde akış ayrılma ve yeniden birleşme noktalarının bina modellerine göre değiştirdiği görülmüştür. Bina modellerinin keskin köşelerinden akış ayrılması meydana

gelmekte ancak, akış yönünde bina en mesafesinin büyük olması nedeniyle akış cidar birleşmesi yeniden oluşmaktadır.

Tezin sayısal kısmında, k-e türbülans yöntemi kullanılmıştır. Akış yapısı üç boyutlu kabul edilmiş olup ANSYS 12.1-Fluent yazılımı kullanılmıştır. Elde edilen deneysel sonuçlar, sayısal sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Deneysel sonuçlar ile sayısal sonuçların birbiriyle uyum içerisinde olduğu görülmüştür.

Anahtar kelimeler: Akış Ayrılması, Bina Aerodinamiği, k-e Türbülans Modelleri, Parçacık Görüntülemeli Hız Ölçme Yöntemi (PIV), Sonlu Hacimler Yöntemi,

ABSTRACT

EXPERIMENTAL AND THEORETICAL INVESTIGATION OF HEAT TRANSFER AND FLOW STRUCTURES WITHIN THE RESIDENTIAL AREAS ON THE STRUCTURES HAVING DIFFERENT GEOMETRIES

Deniz GÖLBAŞI

Ph. D. Thesis, Department of Mechanical Engineering

Supervisor: Prof.Dr. Ertan BUYRUK

2015, 176+xxii pages

In this study, it is planned to extensively investigation of flow around the building models with different type by experimentally and numerically. Under study, it is aimed to provide establishing a correlation between wind characteristics and velocity distribution on the building, examining of relationship between the reverse flow zones, determination of the appropriate building geometries for the prevention of the negativities encountered in practice, determination of the distances between buildings and experimental data that can be used on the subjects of positioning relative to each other of buildings.

In the experimental section of study, flow structure around the four different building models were carried out in the water channel with closed circuit open surface by using Particle Image Velocimetry Technique (PIV). It was used 5 cm x 5 cm x 5 cm without roof, 5 cm x 5 cm x 5 cm with 30° slope and roof, 5 cm x10 cm x 5 cm with 30° slope and roof, 10 cm x 5 cm x 5 cm with 30° slope and roof as building models. Flow areas (averaged velocity fields, streamlines and vortex peer surface curves etc.) were investigated according to single building residential status, binary residential status of the building and triple cross-building residential status on these building models. In the result of experimental study, it was seen that flow on the building surfaces was composed by uniting many vortex systems. It was observed that vortexes were occurred with positive direction and negative direction in the rear areas of the building models and the vortex sizes change depending on variation of building models as well. It was determined that on the surfaces of building models flow seperation and reunification points alter according to building models and flow which is seperated from sharp corners of the building brings reunion points on the plane surface.

In the numerical part of the study, flow areas around building models were solved by using finite volume method-ANSYS 12.1.-FLUENT with k-e turbulence models as three dimensional. The obtained experimental results compared with numerical results. It was seen that experimental results with the numerical results were in harmony with each other.

Key words: Building Aerodynamics, Finite Volume Method, Flow Separation, k-e Turbulence Methods, Particle Image Velocimetry (PIV)

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
TEŞEKKÜR	vii
ÖZET	ix
ABSTRACT	xi
ŞEKİLLER DİZİNİ	xv
ÇİZELGELER DİZİNİ	xxi
SİMGELER DİZİNİ	xxii
1. GİRİŞ	1
1.1 Giriş	1
1.2 Tezin Amacı ve Kapsamı.....	2
1.2.1 Tezin Amacı.....	2
1.2.2 Tezi Kapsamı.....	3
1.3 Çalışmanın Bilimsel Önemi.....	4
1.4 Literatür Araştırması.....	6
2. BİNA AERODİNAMİĞİ	14
2.1 Rüzgar ve Türbülans	14
2.2 Atmosferik Sınır Tabaka	17
2.2.1 Atmosferik Sınır Tabakanın Özellikleri.....	17
2.2.2 Atmosferik Sınır Tabakanın Modellenmesi	20
2.3 Yapılar Üzerinde Rüzgar Etkileri	21
2.3.1 Yerleşme Dokusu ve Bina Çevresindeki Hava Akımları.....	22
2.3.2 Alçak Binalar Üzerinde Rüzgar Etkileri.....	27
2.3.3 Akış Yapısı.....	29
2.3.4 Ayrılmış Akışlar.....	31
2.3.5 Geri Basamak Akışı.....	32
2.3.6 İleri Basamak Akışı.....	33
2.3.7 Boşluk Akışı.....	33
2.3.8 Konik Girdaplar.....	34
2.3.9 Mühendislik Yaklaşımı ve Binaların Performansı.....	35
2.3.10 Bina Kodları.....	37
2.3.11 Geleneksel Çatı Tipleri.....	38
3. MATERYAL ve YÖNTEM	41
3.1 Particle Image Velocimetry (PIV).....	41
3.1.1 PIV Ölçüm Tekniğinin Çalışma Prensipleri.....	43
3.1.2 Deney Düzenneği ve Ölçüm Sistemi.....	47
3.1.3 Bina Modelleri.....	53
3.2 Sayısal Yöntem ve Temel Denklemler	56
3.2.1 Kullanılan Sayısal Yöntem.....	56
3.2.2 Sonlu Hacimler Yöntemi	57
3.2.3 Sonlu Hacimler Formülasyonları.....	57
3.2.4 Türbülans Modelleri.....	58
3.2.5 Model Geometrisi ve Sayısal Ağ Yapısı	58
3.2.6 Sınır Koşulları.....	60
4. SONUÇLARIN DÜZENLENMESİ	61
4.1 Ölçüm Yüzeyleri	61
4.1.1 Yan Görünüş Ölçüm Yüzeyleri	61
4.1.2 Üst Görünüş Ölçüm Yüzeyleri	63
4.2 Ölçülen Akış Özellikleri	64

4.2.1 Ortalama Hızlar.....	64
4.2.2 Akım Çizgileri	64
4.2.3 Girdaplar.....	64
5. TEK BİNA ETRAFINDAKİ AKIŞ YAPISININ	
DENEYSEL ve SAYISAL OLARAK İNCELENMESİ.....	65
5.1 Tek Bina Modeli Etrafındaki Akış Yapısının	
DeneySEL Olarak İncelenmesi.....	65
5.1.1 Giriş.....	65
5.1.2 Tek Bina Modeli Etrafındaki Akış Yapısının DeneySEL	
Üst Görünüş Ölçümleri.....	66
5.1.2.1 Genel Akış Yapısı.....	67
5.1.2.2 Ortalama Hızlar	83
5.1.3 Tek Bina Modeli İçin Akış Yapısının DeneySEL	
Yan görünüş Ölçümleri.....	88
5.1.3.1 Genel Akış Yapısı.....	88
5.1.3.2 Ortalama Hızlar	94
5.2 Tek Bina Modeli Etrafındaki Akış Yapısının	
Sayısal Olarak İncelenmesi.....	97
5.2.1 Giriş.....	97
6. İKİLİ BİNA ETRAFINDAKİ AKIŞ YAPISININ	
DENEYSEL ve SAYISAL OLARAK İNCELENMESİ.....	101
6.1 İkili Olarak Yerleştirilmiş Bina Modelleri Etrafındaki	
Akış Yapısının DeneySEL olarak İncelenmesi.....	101
6.1.1 Giriş	101
6.1.2 İkili Bina Modeli Etrafındaki Akış Yapısının DeneySEL	
Üst Görünüş Ölçümleri.....	102
6.1.2.1 Genel Akış Yapısı.....	102
6.1.2.2 Ortalama Hızlar	116
6.1.3 İkili Olarak Yerleştirilmiş Bina Modelleri Etrafındaki Akış	
Yapısının DeneySEL Yan Görünüş Ölçümleri	124
6.1.3.1 Genel Akış Yapısı.....	124
6.1.3.2 Ortalama Hızlar	127
6.2 İkili Olarak Yerleştirilmiş Bina Modelleri Etrafındaki Akış Yapısının	
Sayısal Olarak İncelenmesi.....	128
6.2.1 Giriş.....	128
7. ÜÇLÜ BİNA ETRAFINDAKİ AKIŞ YAPISININ	
DENEYSEL ve SAYISAL OLARAK İNCELENMESİ.....	133
7.1 Giriş.....	133
7.2 Üçlü Olarak Yerleştirilmiş Bina Modelleri Etrafındaki Akış	
Yapısının Üst Görünüş Ölçümleri.....	133
7.2.1 Genel Akış Yapısı.....	133
7.2.2 Ortalama Hızlar	159
8. SONUÇLAR ve ÖNERİLER	170
8.1 Sonuçlar.....	170
8.1 Öneriler.....	171
KAYNAKLAR	172
ÖZGEÇMİŞ	

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 2.1 Rüzgar – hız spektrumu.....	15
Şekil 2.2 Rüzgar hızına bağlı değişim.....	15
Şekil 2.3 Atmosferik sınır tabaka.....	18
Şekil 2.4 Farklı arazilerde ortalama rüzgar profilleri (Mendis 2000).....	19
Şekil 2.5 Binalar etrafında oluşan hava akımları şemaları (Gandemer, 1984).....	22
Şekil 2.6 Binalar etrafında oluşan hava (Gandemer, 1984).....	23
Şekil 2.7 Binaların yatay ve düşey düzlemde bir araya geldiğinde rüzgar hızının arttırılması ve öteleme.....	24
Şekil 2.8 Bitkilerden yararlanarak rüzgarın engellenmesi, Hızının arttırılması, (Robobinette, 1984).....	25
Şekil 2.9 Çevredeki yapıların ortalama rüzgâr hızı profiline etkisi.....	26
Şekil 2.10 Vorteks yüklerinin oluşumu.....	27
Şekil 2.11 Tipik bir bina etrafında oluşan girdap tipleri (Metha, 1992).....	27
Şekil 2.12 Alçak bir bina etrafındaki akış (Holmes, 1983).....	29
Şekil 2.13 Farklı giriş profilleri için düz çatı üzerindeki akış (Young ,1997).....	30
Şekil 2.14 Geri basamak akışında akış bölgeleri (Aung 1983).....	32
Şekil 2.15 Bir kare yüzeyinden akış ve kayma tabakasının gösterimi.....	33
Şekil 2.16 İleri basamak akışında akış bölgeleri (Sherry 2009).....	33
Şekil 2.17 Boşluk akışında akış bölgeleri (Aung 1983).....	34
Şekil 2.18 Tek bir bina üzerinde akışta akış bölgeleri.....	34
Şekil 2.19 Bina köşesinde oluşan konik girdap akışı (Cook, 1985).....	35
Şekil 2.20 Çatı tipleri.....	39
Şekil 3.1 PIV analiz işlemleri(Temel2013).....	43
Şekil 3.2 Kanal içerisine eklenen parçacıklar	44
Şekil 3.3 PIV deney seti (Karakuş, 2007).....	45
Şekil 3.4 PIV sistemi elemanları şematik görünüşü.....	46
Şekil 3.5 Parçacık görüntülemeli hız ölçme tekniğinin çalışma prensibi (http://www.ex-en.com.tr/piv).....	47
Şekil 3.6 Deney kanalının görünümü.....	48
Şekil 3.7 Su kanalının şematik görünümü.....	49
Şekil 3.8 Deney kanalının şematik görünümü.....	49
Şekil 3.9 Binaların yerleştirildiği plaka.....	50
Şekil 3.10 Tek bina modelinin plaka üzerinde yerleşimi.....	51
Şekil 3.11 Parlama ve izole bant.....	51
Şekil 3.12 Bina boyanmamış ve plaka siyah bantlı.....	51
Şekil 3.13 Bina boyalı ve plaka siyah bantlı.....	52
Şekil 3.14 Yandan görünüş için $z/h=2$ yüzeyi için bina modelinin boyanmış hali.....	52
Şekil 3.15 Üstten görünüş için $z/h=2$ yüzeyi için bina modelinin boyanmış hali.....	53
Şekil 3.16 Üstten görünüş için $z/h=2$ yüzeyi için bina modelinin boyanmış hali.....	53
Şekil 3.17 Çatısız Kare Model (A).....	54
Şekil 3.18 Çatılı Kısa Model(B).....	54
Şekil 3.19 Çatılı Uzun Model(C).....	54
Şekil 3.20 Çatılı Geniş Model (D).....	55
Şekil 3.21 Bina modeli ve hesaplama alanı.....	59
Şekil 3.22 Üç boyutlu mesh görünüşleri.....	60
Şekil 4.1 Yan görünüş için lazer ve kameranın yerleşimi.....	61

Şekil 4.2	Deney düzeneğinde lazerin yerleşimi.....	62
Şekil 4.3	Deney düzeneğinde kameranın yerleşimi.....	62
Şekil 4.4	Yandan görünüş için deney düzeneğinde bina modelinin görünümü...	62
Şekil 4.5	Yandan görünüş için görüntü alanının görünümü.....	63
Şekil 4.6	Üstten görünüş için lazer ve kameranın şematik görünüşü.....	63
Şekil 4.7	Deney düzeneğinde üst görünüş için kamera ve aynanın yerleşimi...	64
Şekil 4.8	Deney düzeneğinde üst görünüş için kamera ve aynanın yerleşimi.....	64
Şekil 5.1	Üst görünüş ölçüm yüzeyleri.....	66
Şekil 5.2	Üstten görünüş için tek bina modelinin yerleşimi.....	67
Şekil 5.3	Tek bina modellerinin kanal içerisindeki şematik görünüşleri.....	67
Şekil 5.4	Tek bina modeli için (model A) etrafındaki akış için $y/h=0,5$ yüzeyindeki zaman ortalama a) Akım çizgileri $\langle \psi \rangle$, b) Hız dağılımı $\langle V \rangle$, c) girdap eşdeğer eğrileri $\langle \omega \rangle$, minimum ve girdap eşdeğer eğrileri artış değeri $\langle \omega_{min} \rangle = \pm 4s^{-1}$ ve $\langle \omega \rangle = 2s^{-1}$	70
Şekil 5.5	Tek bina modeli için (model B) etrafındaki akış için $y/h=0,5$ yüzeyindeki zaman ortalama a) Akım çizgileri $\langle \psi \rangle$, b) Hız dağılımı $\langle V \rangle$, c) girdap eşdeğer eğrileri $\langle \omega \rangle$, minimum ve girdap eşdeğer eğrileri artış değeri $\langle \omega_{min} \rangle = \pm 4s^{-1}$ ve $\langle \omega \rangle = 2s^{-1}$	71
Şekil 5.6	Tek bina modeli için (model C) etrafındaki akış için $y/h=0,5$ yüzeyindeki zaman ortalama a) Akım çizgileri $\langle \psi \rangle$, b) Hız dağılımı $\langle V \rangle$, c) girdap eşdeğer eğrileri $\langle \omega \rangle$, minimum ve girdap eşdeğer eğrileri artış değeri $\langle \omega_{min} \rangle = \pm 4s^{-1}$ ve $\langle \omega \rangle = 2s^{-1}$	73
Şekil 5.7	Tek bina modeli için (model D) etrafındaki akış için $y/h=0,5$ yüzeyindeki zaman ortalama a) Akım çizgileri $\langle \psi \rangle$, b) Hız dağılımı $\langle V \rangle$, c) girdap eşdeğer eğrileri $\langle \omega \rangle$, minimum ve girdap eşdeğer eğrileri artış değeri $\langle \omega_{min} \rangle = \pm 4s^{-1}$ ve $\langle \omega \rangle = 2s^{-1}$	75
Şekil 5.8	Tek bina modeli için (model A) etrafındaki akış için $y/h=1$ yüzeyindeki zaman ortalama a) Akım çizgileri $\langle \psi \rangle$, b) Hız dağılımı $\langle V \rangle$, c) girdap eşdeğer eğrileri $\langle \omega \rangle$, minimum ve girdap eşdeğer eğrileri artış değeri $\langle \omega_{min} \rangle = \pm 4s^{-1}$ ve $\langle \omega \rangle = 2s^{-1}$	76
Şekil 5.9	Tek bina modeli için (model B) etrafındaki akış için $y/h=1$ yüzeyindeki zaman ortalama a) Akım çizgileri $\langle \psi \rangle$, b) Hız dağılımı $\langle V \rangle$, c) girdap eşdeğer eğrileri $\langle \omega \rangle$, minimum ve girdap eşdeğer eğrileri artış değeri $\langle \omega_{min} \rangle = \pm 4s^{-1}$ ve $\langle \omega \rangle = 2s^{-1}$	78
Şekil 5.10	Tek bina modeli için (model C) etrafındaki akış için $y/h=1$ yüzeyindeki zaman ortalama a) Akım çizgileri $\langle \psi \rangle$, b) Hız dağılımı $\langle V \rangle$, c) girdap eşdeğer eğrileri $\langle \omega \rangle$, minimum ve girdap eşdeğer eğrileri artış değeri $\langle \omega_{min} \rangle = \pm 4s^{-1}$ ve $\langle \omega \rangle = 2s^{-1}$	80
Şekil 5.11	Tek bina modeli için (model D) etrafındaki akış için $y/h=1$ yüzeyindeki zaman ortalama a) Akım çizgileri $\langle \psi \rangle$, b) Hız dağılımı $\langle V \rangle$, c) girdap eşdeğer eğrileri $\langle \omega \rangle$, minimum ve girdap eşdeğer eğrileri artış değeri $\langle \omega_{min} \rangle = \pm 4s^{-1}$ ve $\langle \omega \rangle = 2s^{-1}$	82
Şekil 5.12	Tek bina modeli için model A etrafındaki akış için zaman ortalama $\langle u \rangle$ hız bileşeni dağıtımını a) $y/h=0,5$ simetri yüzeyi b) $y/h=1$ simetri yüzeyi.....	83
Şekil 5.13	Tek bina modeli için model A etrafındaki akış için zaman ortalama $\langle v \rangle$ hız bileşeni dağıtımını a) $y/h=0,5$ simetri yüzeyi b) $y/h=1$ simetri yüzeyi.....	84

Şekil 5.14 Tek bina modeli için model B etrafındaki akış için zaman ortalama $\langle u \rangle$ hız bileşeni dağıtımı a) $y/h=0,5$ simetri yüzeyi b) $y/h=1$ simetri yüzeyi.....	84
Şekil 5.15 Tek bina modeli için model B etrafındaki akış için zaman ortalama $\langle v \rangle$ hız bileşeni dağıtımı a) $y/h=0,5$ simetri yüzeyi b) $y/h=1$ simetri yüzeyi.....	84
Şekil 5.16 Tek bina modeli için model C etrafındaki akış için zaman ortalama $\langle u \rangle$ hız bileşeni dağıtımı a) $y/h=0,5$ simetri yüzeyi b) $y/h=1$ simetri yüzeyi.....	85
Şekil 5.17 Tek bina modeli için model C etrafındaki akış için zaman ortalama $\langle v \rangle$ hız bileşeni dağıtımı a) $y/h=0,5$ simetri yüzeyi b) $y/h=1$ simetri yüzeyi.....	86
Şekil 5.18 Tek bina modeli için model D etrafındaki akış için zaman ortalama $\langle u \rangle$ hız bileşeni dağıtımı a) $y/h=0,5$ simetri yüzeyi b) $y/h=1$ simetri yüzeyi.....	87
Şekil 5.19 Tek bina modeli için model D etrafındaki akış için zaman ortalama $\langle v \rangle$ hız bileşeni dağıtımı a) $y/h=0,5$ simetri yüzeyi b) $y/h=1$ simetri yüzeyi.....	87
Şekil 5.20 Yandan görünüş ölçüm yüzeyleri.....	88
Şekil 5.21 Deney düzeneği içerisinde tek binanın yandan görünüşü.....	88
Şekil 5.22 Tek bina modeli için (model A) etrafındaki akış için $y/h=0,5$ yüzeyindeki zaman ortalama a) Akım çizgileri $\langle \psi \rangle$, b) Hız dağılımı $\langle V \rangle$, c) girdap eşdeğer eğrileri $\langle \omega \rangle$, minimum ve girdap eşdeğer eğrileri artış değeri $\langle \omega_{min} \rangle = \pm 4s^{-1}$ ve $\langle \omega \rangle = 2s^{-1}$	91
Şekil 5.23 Tek bina modeli için (model B) etrafındaki akış için $y/h=0,5$ yüzeyindeki zaman ortalama a) Akım çizgileri $\langle \psi \rangle$, b) Hız dağılımı $\langle V \rangle$, c) girdap eşdeğer eğrileri $\langle \omega \rangle$, minimum ve girdap eşdeğer eğrileri artış değeri $\langle \omega_{min} \rangle = \pm 4s^{-1}$ ve $\langle \omega \rangle = 2s^{-1}$	92
Şekil 5.24 Tek bina modeli için (model C) etrafındaki akış için $y/h=0,5$ yüzeyindeki zaman ortalama a) Akım çizgileri $\langle \psi \rangle$, b) Hız dağılımı $\langle V \rangle$, c) girdap eşdeğer eğrileri $\langle \omega \rangle$, minimum ve girdap eşdeğer eğrileri artış değeri $\langle \omega_{min} \rangle = \pm 4s^{-1}$ ve $\langle \omega \rangle = 2s^{-1}$	93
Şekil 5.25 Tek bina modeli için model A etrafındaki akış için $z/h=0,5$ simetri yüzeyi zaman ortalama a) $\langle u \rangle$ hız bileşeni dağılımı b) $\langle v \rangle$ hız bileşeni ...	94
Şekil 5.26 Tek bina modeli için model B etrafındaki akış için $z/h=0,5$ simetri yüzeyi zaman ortalama a) $\langle u \rangle$ hız bileşeni dağılımı b) $\langle v \rangle$ hız bileşeni	95
Şekil 5.27 Tek bina modeli için model A etrafındaki akış için $z/h=2$ simetri yüzeyi zaman ortalama a) $\langle u \rangle$ hız bileşeni dağılımı b) $\langle v \rangle$ hız bileşeni ...	96
Şekil 5.28 Sayısal çalışmada kullanılan bina modelleri.....	98
Şekil 5.29 Tek bina modeli için model A için $z/h=0,5$ simetri yüzeyinde $\frac{u}{U_{\infty}}$ hız profilleri.....	99
Şekil 5.30 Tek bina modeli için model A için $z/h=0,5$ simetri yüzeyinde $\frac{u}{U_{\infty}}$ hız profilleri.....	99
Şekil 5.31 Tek bina modeli için model A için $z/h=0,5$ simetri yüzeyinde $\frac{u}{U_{\infty}}$ hız profilleri.....	100
Şekil 6.1 Deney düzeneği üzerinde ikili model yerleşimi.....	102
Şekil 6.2 İki bina modelinin şematik görünüşü.....	102

Şekil 6.3 İkili bina modeli için model A etrafındaki akış $y/h=0,5$ yüzeyindeki zaman ortalama a) akım çizgileri $\langle\psi\rangle$, b) hız dağılımı $\langle V\rangle$, c) girdap eşdeğer eğrileri $\langle\omega\rangle$, minimum ve girdap eşdeğer eğrileri artış değeri $\langle\omega_{\min}\rangle=\pm 4s^{-1}$ ve $\Delta\langle\omega\rangle=2s^{-1}$ minimum ve çevrinti eğrileri artış değeri $\langle\omega_{\min}\rangle=\pm 4s^{-1}$ ve $\Delta\langle\omega\rangle=2s^{-1}$	106
Şekil 6.4 İkili bina modeli için model B etrafındaki akış $y/h=0,5$ yüzeyindeki zaman ortalama a) akım çizgileri $\langle\psi\rangle$, b) hız dağılımı $\langle V\rangle$, c) girdap eşdeğer eğrileri $\langle\omega\rangle$, minimum ve girdap eşdeğer eğrileri artış değeri $\langle\omega_{\min}\rangle=\pm 4s^{-1}$ ve $\Delta\langle\omega\rangle=2s^{-1}$ minimum ve çevrinti eğrileri artış değeri $\langle\omega_{\min}\rangle=\pm 4s^{-1}$ ve $\Delta\langle\omega\rangle=2s^{-1}$	107
Şekil 6.5 İkili bina modeli için model A ve model B etrafındaki akış $y/h=0,5$ yüzeyindeki zaman ortalama a)akım çizgileri $\langle\psi\rangle$, b) hız dağılımı $\langle V\rangle$, c) girdap eşdeğer eğrileri $\langle\omega\rangle$, minimum ve girdap eşdeğer eğrileri artış değeri $\langle\omega_{\min}\rangle=\pm 4s^{-1}$ ve $\Delta\langle\omega\rangle=2s^{-1}$	111
Şekil 6.6 İkili bina modeli için model B ve model C etrafındaki akış $y/h=0,5$ yüzeyindeki zaman ortalama a)akım çizgileri $\langle\psi\rangle$, b) hız dağılımı $\langle V\rangle$, c) girdap eşdeğer eğrileri $\langle\omega\rangle$, minimum ve girdap eşdeğer eğrileri artış değeri $\langle\omega_{\min}\rangle=\pm 4s^{-1}$ ve $\Delta\langle\omega\rangle=2s^{-1}$	112
Şekil 6.7 İkili bina modeli için model A ve model B etrafındaki akış $y/h=0,5$ yüzeyindeki zaman ortalama a)akım çizgileri $\langle\psi\rangle$, b) hız dağılımı $\langle V\rangle$, c) girdap eşdeğer eğrileri $\langle\omega\rangle$, minimum ve girdap eşdeğer eğrileri artış değeri $\langle\omega_{\min}\rangle=\pm 4s^{-1}$ ve $\Delta\langle\omega\rangle=2s^{-1}$	115
Şekil 6.8 İkili bina modeli için model A etrafındaki akış için $y/h=0,5$ simetri yüzeyi zaman ortalama a) $\langle u \rangle$ hız dağılımı b) $\langle v \rangle$ hız dağılımı.	117
Şekil 6.9 İkili bina modeli için model B etrafındaki akış için $y/h=0,5$ simetri yüzeyi zaman ortalama a) $\langle v \rangle$ hız dağılımı b) $\langle v \rangle$ hız dağılımı.	118
Şekil 6.10 İkili bina modeli için model A ve model B etrafındaki akış için $y/h=0,5$ simetri yüzeyi zaman ortalama a) $\langle u \rangle$ hız dağılımı b) $\langle v \rangle$ hız	120
Şekil 6.11 İkili bina modeli için model B ve model C etrafındaki akış için $y/h=0,5$ simetri yüzeyi zaman ortalama a) $\langle u \rangle$ hız dağılımı b) $\langle v \rangle$ hız	121
Şekil 6.12 İkili bina modeli için model B ve model C etrafındaki akış için $y/h=0,5$ simetri yüzeyi zaman ortalama a) $\langle u \rangle$ hız dağılımı b) $\langle v \rangle$ hız	123
Şekil 6.13 İkili bina modeli için model B ve model C etrafındaki akış için yandan görünüş için $z/h=0,5$ yüzeyindeki zaman ortalama a) akım çizgileri $\langle\psi\rangle$, b hız dağılımı $\langle V\rangle$, c) girdap eşdeğer eğrileri $\langle\omega\rangle$, minimum ve girdap eşdeğer eğrileri artış değeri $\langle\omega_{\min}\rangle=\pm 4s^{-1}$ ve $\Delta\langle\omega\rangle=2s^{-1}$	126
Şekil 6.14 İkili bina modeli için model B ve model C etrafındaki akış için $z/h=0,5$ simetri yüzeyi zaman ortalama a) $\langle u \rangle$ hız dağılımı b) $\langle v \rangle$ hız	127
Şekil 6.15 İkili olarak yerleştirilmiş model A için $z/h=0,5$ simetri yüzeyinde $\frac{u}{U_{\infty}}$ hız profilleri.....	129
Şekil 6.16 İkili olarak yerleştirilmiş model B için $z/h=0,5$ simetri yüzeyinde $\frac{u}{U_{\infty}}$ hız profilleri.....	130
Şekil 6.17 İkili olarak yerleştirilmiş model A ve model B için $z/h=0,5$ simetri yüzeyinde $\frac{u}{U_{\infty}}$ hız profilleri.....	130
Şekil 6.18 İkili olarak yerleştirilmiş model B ve model C için $z/h=0,5$ simetri yüzeyinde $\frac{u}{U_{\infty}}$ hız profilleri.....	131

Şekil 6.19	İkili olarak yerleştirilmiş model C ve model D için $z/h=0,5$ simetri yüzeyinde $\frac{u}{U_{\infty}}$ hız profilleri.....	132
Şekil 7.1	Deney düzeneği üzerinde üç model yerleşimi.....	133
Şekil 7.2	Üç bina modelinin şematik görünüşleri.....	133
Şekil 7.3	Üçlü yerleştirilmiş (model A) bina modelleri etrafındaki akış $y/h=0,5$ yüzeyindeki zaman ortalama a) akım çizgileri $\langle\psi\rangle$, b) hız dağılımı $\langle V\rangle$, c)girdap eşdeğer eğrileri $\langle\omega\rangle$, minimum ve girdap eşdeğer artış değeri $\langle\omega_{\min}\rangle=\pm 4s^{-1}$ ve $\Delta\langle\omega\rangle=2s^{-1}$	136
Şekil 7.4	Üçlü yerleştirilmiş (model B) bina modelleri etrafındaki akış $y/h=0,5$ yüzeyindeki zaman ortalama a) akım çizgileri $\langle\psi\rangle$, b) hız dağılımı $\langle V\rangle$, c)girdap eşdeğer eğrileri $\langle\omega\rangle$, minimum ve girdap eşdeğer artış değeri $\langle\omega_{\min}\rangle=\pm 4s^{-1}$ ve $\Delta\langle\omega\rangle=2s^{-1}$	139
Şekil 7.5	Üçlü yerleştirilmiş (model C) bina modelleri etrafındaki akış $y/h=0,5$ yüzeyindeki zaman ortalama a) akım çizgileri $\langle\psi\rangle$, b) hız dağılımı $\langle V\rangle$, c)girdap eşdeğer eğrileri $\langle\omega\rangle$, minimum ve girdap eşdeğer artış değeri $\langle\omega_{\min}\rangle=\pm 4s^{-1}$ ve $\Delta\langle\omega\rangle=2s^{-1}$	142
Şekil 7.6	Üçlü bina yerleşimi için binalar arası mesafenin 7,5cm olması durumunda şematik gösterim.....	143
Şekil 7.7	Üçlü yerleştirilmiş (model A) bina modelleri etrafındaki akış $y/h=0,5$ yüzeyindeki zaman ortalama a) akım çizgileri $\langle\psi\rangle$, b) hız dağılımı $\langle V\rangle$, c)girdap eşdeğer eğrileri $\langle\omega\rangle$, minimum ve girdap eşdeğer artış değeri $\langle\omega_{\min}\rangle=\pm 4s^{-1}$ ve $\Delta\langle\omega\rangle=2s^{-1}$	144
Şekil 7.8	Üçlü yerleştirilmiş (model B) bina modelleri etrafındaki akış $y/h=0,5$ yüzeyindeki zaman ortalama a) akım çizgileri $\langle\psi\rangle$, b) hız dağılımı $\langle V\rangle$, c)girdap eşdeğer eğrileri $\langle\omega\rangle$, minimum ve girdap eşdeğer artış değeri $\langle\omega_{\min}\rangle=\pm 4s^{-1}$ ve $\Delta\langle\omega\rangle=2s^{-1}$	145
Şekil 7.9	Üçlü yerleştirilmiş (model C) bina modelleri etrafındaki akış $y/h=0,5$ yüzeyindeki zaman ortalama a) akım çizgileri $\langle\psi\rangle$, b) hız dağılımı $\langle V\rangle$, c)girdap eşdeğer eğrileri $\langle\omega\rangle$, minimum ve girdap eşdeğer artış değeri $\langle\omega_{\min}\rangle=\pm 4s^{-1}$ ve $\Delta\langle\omega\rangle=2s^{-1}$	148
Şekil 7.10	Üçlü bina yerleşimi için binalar arası mesafenin 10cm olması durumunda şematik gösterim.....	150
Şekil 7.11	Üçlü yerleştirilmiş (model A) bina modelleri etrafındaki akış $y/h=0,5$ yüzeyindeki zaman ortalama a) akım çizgileri $\langle\psi\rangle$, b) hız dağılımı $\langle V\rangle$, c)girdap eşdeğer eğrileri $\langle\omega\rangle$, minimum ve girdap eşdeğer artış değeri $\langle\omega_{\min}\rangle=\pm 4s^{-1}$ ve $\Delta\langle\omega\rangle=2s^{-1}$	152
Şekil 7.12	Üçlü yerleştirilmiş (model B) bina modelleri etrafındaki akış $y/h=0,5$ yüzeyindeki zaman ortalama a) akım çizgileri $\langle\psi\rangle$, b) hız dağılımı $\langle V\rangle$, c)girdap eşdeğer eğrileri $\langle\omega\rangle$, minimum ve girdap eşdeğer artış değeri $\langle\omega_{\min}\rangle=\pm 4s^{-1}$ ve $\Delta\langle\omega\rangle=2s^{-1}$	155
Şekil 7.13	Üçlü yerleştirilmiş (model C) bina modelleri etrafındaki akış $y/h=0,5$ yüzeyindeki zaman ortalama a) akım çizgileri $\langle\psi\rangle$, b) hız dağılımı $\langle V\rangle$, c)girdap eşdeğer eğrileri $\langle\omega\rangle$, minimum ve girdap eşdeğer artış değeri $\langle\omega_{\min}\rangle=\pm 4s^{-1}$ ve $\Delta\langle\omega\rangle=2s^{-1}$	158
Şekil 7.14	Üçlü yerleştirilen bina modeli (model A) etrafındaki akış için $y/h=0,5$ simetri yüzeyi zaman ortalama a) $\langle u\rangle$ hız dağılımı b) $\langle v\rangle$ hız	160

Şekil 7.15 Üçlü yerleştirilen bina modeli (model B) etrafındaki akış için $y/h=0,5$ simetri yüzeyi zaman ortalama a) $\langle u \rangle$ hız dağılımı b) $\langle v \rangle$ hız	161
Şekil 7.16 Üçlü yerleştirilen bina modeli (model C) etrafındaki akış için $y/h=0,5$ simetri yüzeyi zaman ortalama a) $\langle u \rangle$ hız dağılımı b) $\langle v \rangle$ hız	162
Şekil 7.17 Üçlü yerleştirilen bina modeli (model A) etrafındaki akış için $y/h=0,5$ simetri yüzeyi zaman ortalama a) $\langle u \rangle$ hız dağılımı b) $\langle v \rangle$ hız	164
Şekil 7.18 Üçlü yerleştirilen bina modeli (model B) etrafındaki akış için $y/h=0,5$ simetri yüzeyi zaman ortalama a) $\langle u \rangle$ hız dağılımı b) $\langle v \rangle$ hız	165
Şekil 7.19 Üçlü yerleştirilen bina modeli (model C) etrafındaki akış için $y/h=0,5$ simetri yüzeyi zaman ortalama a) $\langle u \rangle$ hız dağılımı b) $\langle v \rangle$ hız	166
Şekil 7.20 Üçlü yerleştirilen bina modeli (model A) etrafındaki akış için $y/h=0,5$ simetri yüzeyi zaman ortalama a) $\langle u \rangle$ hız dağılımı b) $\langle v \rangle$ hız	167
Şekil 7. 21 Üçlü yerleştirilen bina modeli (model B) etrafındaki akış için $y/h=0,5$ simetri yüzeyi zaman ortalama a) $\langle u \rangle$ hız dağılımı b) $\langle v \rangle$ hız	168
Şekil 7.22 Üçlü yerleştirilen bina modeli (model C) etrafındaki akış için $y/h=0,5$ simetri yüzeyi zaman ortalama a) $\langle u \rangle$ hız dağılımı b) $\langle v \rangle$ hız	169

ÇİZELGELER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 2.1 Beaufort ölçeğindeki rüzgar hızları (http:// en.wikipedia.org . Beaufort Scale of Wind).....	16
Çizelge 2.2 Arazi tipi ile ilgili değerler (Aynsley,1977).....	20
Çizelge 3.1 Sayısal ağ özellikleri.....	59
Çizelge 6.1 Sayısal analiz ile kullanılan bina modelleri ve eleman sayıları.....	128

SİMGELER DİZİNİ

δ	Sınır Tabaka Kalınlığı, m
U_o	Serbest Akış Hızı, m/sn
U	Ortalama Hız, m/sn
z_o	Prüzlülük Uzunluğu (m)
β	Prüzlülük Katsayısı
V	Zaman Ortalamalı Hız vektörü, m/sn
ψ	Akım çizgileri
ω	Girdap
$C_{1\varepsilon}$	k- ε türbülans modeli için sabit katsayı
$C_{2\varepsilon}$	k- ε türbülans modeli için sabit katsayı
S_k	k- ε türbülans modeli için kaynak terimleri
S_ε	k- ε türbülans modeli için kaynak terimleri
h	Bina yüksekliği m
F	Girdap merkezi
X_R	Girdap uzunluğu, m
X_{NW}	Ayrılma bölgesi uzunluğu, m
S_1	Durma noktası
Re	Reynolds sayısı

1. GİRİŞ

1.1 Giriş

Havanın dünya yüzeyine göre hareketi, rüzgâr olarak adlandırılmaktadır. Güneş hava hareketinde etkili olan birincil enerji kaynağıdır. Atmosfer tarafından büyük ölçüde geçirilen güneş ışınımı yeryüzü tarafından soğurulur. Işınımın yer yüzeyinin değişik bölgelerine farklı açılarda gelmesi, havanın deniz ve karasal bölgeler üzerinde farklı şekilde ısınmasına yol açmaktadır. Bu durum, düzensiz sıcaklık dağılımları oluşturmakta ve büyük ölçekli hava hareketlerini başlatan yüksek ve alçak basınç sistemlerini meydana getirmektedir. Bu iki sistem arasındaki basınç farkı da rüzgârın oluşmasına neden olmaktadır. Tropiklerin dışında, rüzgârların çoğunluğu, doğudan batıya hareket eden ve güney yarım kürede saat yönünde, kuzey yarım kürede ise saat yönünün tersinde bir sirkülasyona sahip büyük ölçekli düşük basınçlı sistemler vasıtasıyla ekvatordan kutuplara doğru olan ısı transferi ile ilgilidir. Dünyanın dönmesi doğu-batı hareketini üretirken ve sirkülasyonun yönünü belirlerken, sıcaklık farkları kuzey-güney akışını meydana getirmektedir.(Aynsley, 1977)

Yeryüzü üzerindeki rüzgâr hareketleri, bir yüzey üzerindeki sınır tabaka akışına benzer şekilde, atmosferik sınır tabaka içinde gerçekleşmektedir. Dünyadaki bütün yapılar, kalınlığı 1 kilometreye kadar değişebilen, bu atmosferik sınır tabaka içinde yer almaktadır. Atmosferik sınır tabakanın alt kısmında rüzgarın hız ve türbülans değerlerinin önemli değişimler göstermesi, binaların tasarım ve yapım aşamalarında dikkatli olunmasını gerektirmektedir. Rüzgâr mühendisliği, sınır tabaka kavramı, rüzgâr hız dağılımı üzerindeki zemin etkileri ve yapıları etkileyen rüzgâr kuvvetleri ile ilgilenmektedir. Rüzgâr yükleri ile ilgili yaklaşımların geliştirilmesinde, meteoroloji ve uzay mühendisliği gibi diğer alanlardan da yararlanılmaktadır. Geçen yarım yüzyılda yapısal tasarımlarda rüzgâr yüklerinin etkilerine yönelik önemli gelişmeler sağlanmıştır. Bu süreçte, geleneksel modellere göre, iklim, meteoroloji, aerodinamik, yapı mekaniği ve dinamiği ile ilgili gerçekçi ve basit kavramlar oluşturulmuştur. Rüzgârın yeryüzünde meydana getirdiği etkiler oldukça önemlidir. Bitkilerin döllenmesinde, havadaki nem ve kirliliğin azaltılmasında olumlu etkiler oluşturan rüzgâr; kum fırtınaları, toprakların erozyona uğraması, yapıların ve yerleşim bölgelerinin hasar görmesi gibi olumsuzluklara da neden olabilmektedir.

Türkiye’de fırtınalar daha çok binaların çatılarının hasar görmesine ve uçmasına neden olmaktadır. Dünyada ve ülkemizde meydana gelen fırtına tipi hava olayları, kaçınılmaz olarak bundan sonra da görülmeye devam edecek ve iklim değişiklikleri sonucu görülme sıklıkları daha da artabilecektir. Rüzgâr etkilerinden mümkün olduğunca az zarar görmek için, meteorolojik verilerin sürekli göz önünde bulundurulması ve yapıların tasarım ve inşasında ilgili standart ve kodlara uyulması büyük önem taşımaktadır. Özellikle, sıcaklık ve nem miktarının fazla olması nedeniyle, dünyanın tropik okyanus alanları kuvvetli fırtına alanlarıdır. Tropikal fırtınalar kuvvetli siklonlardır ve bir alçak basınç alanı etrafında saat yönünün tersine dönen ve maksimum rüzgâr hızları 70 m/s’ ye kadar çıkan çok kuvvetli rüzgârların bulunduğu hava olaylarıdır. (Özmen, 2006) Rüzgârın bina yüzeyleri üzerinde oluşturduğu basınç alanları; sürekli ve süreksiz yükler oluşturmaktadır. Rüzgar basıncı çalkantı karakteristikleri, ortalama rüzgar hızının şiddeti ve doğrultusu, türbülans derecesi, arazi şartları, çevre, bina geometrisi ve yüzey pürüzlülüğü gibi birçok özelliğe bağlıdır. Rüzgâr hareketinin karmaşık bir yapıda olması nedeniyle, bu konuda kesin bir matematiksel yaklaşım geliştirmede güçlüklerle karşılaşmaktadır. Ancak, bu konuda yapılan deneysel ve sayısal çalışmalar, akış alanı hakkında iyi bir fikir verebilmektedir. Binalar üzerindeki rüzgâr etkilerinin deneysel olarak araştırılmasında, gerçek-yapı ölçümleri ve rüzgâr tüneli benzeşim çalışmaları yapılmaktadır. Gerçek ölçekli araştırmaların zaman alıcı, zahmetli ve pahalı olmasından ötürü, rüzgâr tüneli model deneyleri, rüzgâr yüklerinin değerlendirilmesinde önemli rol oynamakta ve ilgili rüzgâr standartları ile kodların oluşturulmasına ve geliştirilmesine katkı sağlamaktadır. Bu konuda yapılan sayısal çalışmalar ise, karmaşık bina geometrileri etrafındaki akış alanlarının hesaplanmasına ve türbülans modellerinin hassasiyetlerinin denenmesine imkan sağlamaktadır.(Özmen,2006)

1.2 Tezin Amacı ve Kapsamı

1.2.1 Amaç

Bina yüksekliği arttıkça binalar üzerindeki rüzgâr etkisi de önemini arttırmaktadır. Özellikle doğal salınım periyodu bir saniyenin üzerindeki binalar rüzgârla etkileşime girebilmekte ve rüzgâr kaynaklı salınımların etkisi hissedilebilir bir hale gelebilmektedir. Genel olarak, bu tip esnek yapıların tasarımında rüzgâr etkileri üç başlıkta incelenir. Konfor kriterleri diye adlandırabileceğimiz ilk başlık bina üst kat

ivmelerinin belirli sınır değerlerin altında tutulmasını içerir. İkinci başlık ise rüzgârdan dolayı binaya etkiyen dinamik kuvvetlerin ya eşdeğer statik yükler olarak ya da zaman alanında tanımlı değişken yükler olarak doğru ve rüzgârın rastgele davranışını da göz önünde bulunduran bir şekilde ifade edilmesi zorunluluğudur. Buna ek olarak son 20 yılda yapılan araştırmalar binaların rüzgâr yönüne dik doğrultuda ve burulma salınımlarının da rüzgârla aynı yöndeki salınımlar kadar önemli olduğunu göstermiştir. Diğer bir deyişle eşdeğer yük hesabında rüzgârın hızının ve yönünün değişkenliği, yapının geometrisi, dinamik davranış ve çevre yapıların etkilerinin de göz önünde bulundurulması bir zorunluluktur (Kurç, 2012). Son zamanlarda dış yüzey kaplamalarının tasarımında bina yüzeyinde belirli bir alandaki ortalama basınç değerleri yerine türbülans etkilerini de göz önünde bulundurularak lokal anlık değerlerin tespit edilerek kullanılması gerekmektedir. Rüzgârın bina çatıları üzerinde meydana getirdiği etkiler, bina çatı geometrileri ile yakından ilgilidir. Bu nedenle, binaların çatı geometrilerindeki farklılık rüzgâr-çatı etkileşiminin de farklı olmasına yol açmaktadır. Rüzgârların çatılar üzerinde meydana getirdiği olumsuz etkilerin değerlendirilebilmesi ve kalıcı çözümlerin ortaya koyulabilmesi için belirli düzlem içerisinde akış yapısının ayrıntılı bir şekilde bilinmesi gerekmektedir. Rüzgâr kaynaklı hasar raporlarına göre, düz ve beşik tipi çatıları olan alçak binalar rüzgâr hasarlarına daha çok maruz kalmaktadır. Bu durum, bu tip çatılara sahip konut, sanayi ve ticari amaçlı binalar etrafındaki akış alanlarının son zamanlarda yaygın bir şekilde incelenmesine yol açmaktadır. Literatürde çatılı binaların aerodinamiğine yönelik araştırmaların çoğu basınç dağılımları ile ilgili olup, akış alanı ile ilgili kapsamlı çalışmalar az sayıdadır.

1.2.2 Tezin Kapsamı

Bu çalışma kapsamında, rüzgâr karakteristikleri ile bina üzerindeki hız dağılımı arasında bir korelasyonun oluşturulması, ters akış bölgeleri arasındaki ilişkinin incelenmesi, uygulamada karşılaşılan olumsuzlukların önlenmesine yönelik uygun bina geometrilerinin belirlenmesi, binalar arasındaki mesafelerin belirlenmesi ve binaların birbirine göre konumlandırılması konularında kullanılabilecek deneysel veri sağlanması amaçlanmıştır.

Çalışmanın deneysel kısmında dört farklı bina modeli etrafındaki akış yapısı, kapalı devre açık yüzeyli su kanalında Parçacık Görüntülemeli Hız Ölçüm Tekniği (PIV) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu yöntemle bu dört küt cisim üzerinde meydana

gelen daimi olmayan akış yapısını noktasal olarak değil, düzlemsel bir alan içerisindeki anlık verilerin akış yapısını bozmadan yüksek hassasiyetle ölçülebilmektedir. Bina modelleri olarak 5cmx5cmx5cm boyutlarında çatısız, 5cmx5cmx5cm boyutlarında 30° eğime sahip çatılı, 5cmx10cmx5cm boyutlarında 30° eğime sahip çatılı, 10cmx5cmx5cm boyutlarında 30° eğime sahip çatılı modeller kullanılmıştır. Bu bina modelleri üzerinde akış yapısı (ortalama hız dağılımları, akım çizgileri ve girdap eş düzey eğrileri vs.), tek bina yerleşim durumuna, ikili bina yerleşim durumuna ve üçlü çapraz bina yerleşim durumuna göre incelenmiştir.

Çalışmanın sayısal kısmında, akışkanlar mekaniği ile ilgili problemlerde yaygın olarak kullanılan ANSYS 12.1 Fluent paket programı ile akış yapısının üç boyutlu sayısal çözümleri elde edilmiştir. Bu çalışma, sekiz bölümden oluşmaktadır. Birinci bölüm, tez konusu ile ilgili literatür araştırmasından oluşmaktadır. İkinci bölümde rüzgar ve türbülans ilişkisi, atmosferik sınır tabaka ve modellenmesi ile binalar üzerinde rüzgar etkileri konularını kapsayan genel bilgilerden oluşmuştur. Üçüncü bölümde, kurulan deney düzenekleri, kullanılan modeller, ölçme cihazları ve ölçüm yöntemleri ile sayısal yöntemden bahsedilmiştir. Dördüncü bölümde sonuçların düzenlenmesi ve sunulması ile ilgili genel bilgilerden oluşmaktadır. Beşinci bölümde tek bina modelleri etrafındaki akışın deneysel ve sayısal sonuçları verilerek sonuçları irdelenmiştir. Altıncı bölümde ikili olarak yerleştirilmiş bina modelleri etrafındaki akışın deneysel ve sayısal sonuçları verilerek sonuçları irdelenmiştir. Yedinci bölümde üçlü olarak çapraz yerleştirilmiş bina modelleri etrafındaki akışın deneysel ve sayısal sonuçları verilerek sonuçları irdelenmiştir. Son bölümde, çalışmanın pratik sonuçlarına yer verilmiş ve ileriye yönelik çalışmalar için önerilerde bulunulmuştur.

1.3 Çalışmanın Bilimsel Önemi

Rüzgâr canlı yaşamını olduğu kadar yer yüzeyindeki yapıları da etkilemektedir. Bina aerodinamiği rüzgârın binalar üzerindeki yapısal ve çevresel etkileri yanı sıra doğal iklimlendirmeye ilişkin çevre ölçeklerinde hava hareketleri ve rüzgârın karakteristiklerinin tanımlanması, yerleşme dokusu açık yâda kapalı mekânlarda hava hareketleri, doğal havalandırma, rüzgâr denetimi gibi konularda doğrudan ve ısı kazanç kayıpları gibi dolaylı alanlardaki konularıyla ilgilenmektedir. Konut, fabrika gibi düşey ya da yatay doğrultuda yapılandırılmış binaları geleneksel çeşitlilikle değişik geometrilere oluşturulmaktadır. Gerçek yapılar üzerindeki ölçümler, hız ve basınç üzerine yoğunlaşmıştır. Rüzgâr etkilerinin belirlenebilmesi için, birçok ülkede

gerçek ölçekli test binaları inşa edilmiştir. Bu binalar üzerinde yapılan kapsamlı ölçümler, rüzgâr tüneli deneylerinin ve nümerik çalışmaların yönlendirilmesine önemli katkılar sağlamaktadır. Günümüzde gerek endüstriyel çalışmalarda, gerekse de akademik araştırmalarda deneysel ve hesaplamalı çalışmalar beraber gerçekleştirilmektedir. Sağlıklı, sürdürülebilir bir kent, onu oluşturan alt ölçekteki binaların ve diğer elemanların en az enerji gerektirecek dolayısıyla en az atık çıkarabilecek bir iklimlendirme sistemi olarak tasarlanmasıyla olanaklıdır. Aerodinamik rüzgârın insanın sağlıklı ve konforlu yaşatabilmek için yaratılan çevrenin ısıl performansını büyük ölçüde değiştiren bir iklim elemanıdır. Yüksek binalar ve bacalar, nükleer güç santralleri, soğutma kuleleri, köprüler, açık denizlerdeki platform yapılar ve destek ayakları gibi çok sayıda mühendislik uygulamaları üzerinde akışlar pratik öneme sahip olmasından dolayı araştırmacılar tarafından çok sık inceleme konusu olmuştur. Bina ve yakın çevresi arasındaki rüzgâr etkileşimiyle oluşan ayrılma bölgeleri ve çoklu girdap grup sistemleri binalar üzerine etkiyen rüzgâr kuvvetlerinin belirlenmesinde ve uygun tasarım parametrelerinin göz önüne alınmasında büyük öneme sahiptir. Rüzgârın bina ile etkileşimi sonucu meydana gelen girdapların yayılması ile oluşacak titreşimler de gürültü ve hasara neden olabilmektedir. Ayrıca, bina çatılarındaki bacalardan dış ortama bırakılan, duman ve benzeri gaz halindeki atıkların atmosferde dağılımı, çatı geometrilerinden ve bina yerleşim düzenlerinden etkilenecek hava kirliliği açısından olumsuzluklar meydana getirebilmektedir. Bu etkilerin bulunabilmesi açısından bina dışındaki hava hareketlerinin tam olarak tespit edilmesi gerekmektedir. Binanın önünde görülen akış girdap hareketleri zemin seviyesindeki toz, toprak, yağmur ve kar gibi tanecikleri yer seviyesinden yükselterek ortama karışmasına neden olmaktadır. Tüm bu nedenlerle bina üzerindeki akış yapısının ve fiziğinin bilinmesi hem tasarım hem de teknik problemlerin çözülmesi noktasında büyük yararlar sağlamaktadır. Gelişen teknoloji ile giderek daha da çok katlı inşa edilen çok katlı bina konstrüksiyonları yalnız mimari ve statik etkilerin değil kullanım ömürleri boyunca maruz kalmaları muhtemel aerodinamik etkilerin de göz önüne alınmaları gerekmektedir. Bu etkilerin belirlenmesi için de yapıların modellerinin de rüzgâr tüneli ve PIV gibi deneysel yöntemlere tabi tutulması gerekmektedir. Rüzgâr tüneli deneylerinden elde edilen sonuçlar, analitik ve sayısal yöntemlerin yetersiz kaldığı karmaşık geometriler üzerindeki rüzgâr yüklerinin belirlenmesinde ve ilgili paket programlarda kullanılan sayısal yöntemlerin dayandığı teori ve yaklaşımların

doğruluk ve hassasiyetinin denenmesinde büyük önem taşımaktadır. Ayrıca, binalarla ilgili rüzgâr standartları ve pratik kodların, iklimsel koşullardaki değişimlere göre düzeltilmesine ve yenilenmesine de katkı sağlamaktadır. Bu çalışma ile rüzgârla yerleşme dokusu ve binalar arası etkileşimi incelenerek bina tasarımında daha gerçekçi çözüm önerileri sunulabilecektir.

Bu çalışmanın konusu ile ilgili literatür incelendiğinde, çatı geometrilerine sahip bina modelleri üzerinde ortalama ve anlık hızlarının, vortisitelerinin kapsamlı bir şekilde ölçüldüğü çalışmaların oldukça az sayıda olduğu görülmektedir. Farklı bina modelleri etrafındaki akış alanlarında; ortalama hız ve türbülans hız profillerinin ölçülmesinin ve kentsel yerleşkeler üzerinde bina modellerinin birbirlerine göre konumları, binalar modelleri arası mesafenin değişiminin akış üzerindeki etkileri konusunda bilgi edinilebilmesi bu çalışmaya orijinal bir nitelik kazandıracak gibi bu alanda çalışacaklar için önemli yararlar oluşturacağı düşünülmektedir.

1.4 Literatür Araştırması

Park vd. (2004), Binalar üzerine etkiyen rüzgâr kuvvetlerinin belirlenmesinde uygun parametrelerinin göz önüne alınmasının gerektiğini belirtmişlerdir. Sonlu silindir kullanarak yaptıkları bu çalışmada, bina ve gemilerde bulunan yüksek bacalardan çıkan atıkların hareketinin, sonlu silindir serbest ucundan dolayı bacalar üzerinde meydana gelen ayrılmış akış akış bölgelerinden ve ANG yapılarından büyük oranda etkilendiğini belirtmişlerdir.

Parker vd. (2004), Rüzgar tünelinin çalışma bölgesinin alt kısmında türbülanslı sınır tabaka akışını, 1:1000 ölçekli olarak elde etmişlerdir. Rüzgar tüneli çalışma alanı girişine yerleştirdikleri türbülans üretici ızgaraların 1m ilerisine 5 adet üçgen piramitlerden yerleştirmişler ve piramitlerden sonra 2.35m'lik mesafede pürüzlülük elemanları kullanarak 0.8m yüksekliğinde bir sınır tabaka oluşturmuşlardır.

Stathopoulos vd. (1999), 3.3m yüksekliğindeki alçak bir bina modelinin çatısının kenarlarına yerleştirilen farklı yüksekliklerde konulan korkulukların, basınç dağıtımı üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. L , bina uzunluğunu; h , korkuluk yüksekliğini göstermek üzere, çatı üzerindeki oluşan emme etkisindeki artışların $0.01 < h/L < 0.02$ aralığında oluştuğunu göstermişlerdir.

Banks vd. (2000), alçak bina çatıları üzerindeki rüzgâr etkisini belirlemek için, rüzgar tüneline ve gerçek yapıda basınç ölçümleri gerçekleştirmişlerdir. En büyük ortalama ve negatif değerlerin, açılı rüzgâr doğrultularında ve delta kanat tipindeki konik girdapların bulunduğu bölgelerde oluştuğunu belirlemişlerdir.

Wu vd. (2001), konik girdaplarla ilişkili kritik emme etkilerini anlamak üzere TTU test binası üzerinde gerçek ölçekli deneyler yapmışlardır. Anlık olarak ölçülen basınç verileri ve akış gözleme çalışmalarından, konik girdaplar ile çatı köşelerindeki kritik emme basınçlarının ilişkili olduğunu ifade etmişlerdir.

Letchford vd. (1992), 1:100 ölçekli model çalışmasıyla, düz çatılar üzerindeki ortalama basınç dağılımlarını, kentsel arazi şartlarına göre modellenmiş bir atmosferik sınır tabakadaki rüzgar tüneline ölçümlerinden elde etmişlerdir. Belli bir çatı eğimi ve rüzgâr açısı aralığı için gerçekleştirdikleri yerel ve alan ortalamalı ölçümler sonucunda, en kritik yüklerin akış ayrılmasının olduğu bölgelerde oluştuğunu bulmuşlardır. Değişik eğim açılarına sahip bir dizi çatı modeli üzerinde akış ayrılmasını ve girdap oluşum mekanizmasını incelemek üzere Ginger vd. (1992) tarafından yapılan bir çalışmada, akış ayrılması ve girdap oluşumunun büyük piklere sahip çatı yüklerinden kaynaklandığı ortaya konulmuştur. Ginger vd. (1995), 1:100 ölçekli çatı modelleri üzerinde yerel ve alan ortalamalı basınçları rüzgar tüneline ölçümleriyle belirledikleri çalışmalarında, kritik ortalama ve minimum emme basınçlarının akışı ayıran kayma tabakasının altında oluştuğunu belirlemişlerdir.

Case vd. (1998), eşit yükseklik ve genişliğe sahip farklı uzunluktaki beşik çatılı üç alçak bina modelini, 1:100 ölçekli olarak sınır tabaka rüzgar tüneline test etmişlerdir. Farklı rüzgar açıları ve farklı arazi şartları için anlık yüzey basınçlarını ölçerek, kentsel arazi koşullarında rüzgar yüklerinin açık kırsal arazi koşullarına göre daha düşük olduğunu belirlemişlerdir.

Kim vd. (2010), yükseklik değişimine bağlı olarak 4 bina modeli üzerinde rüzgâr yükünün değişimini fiziksel mekanizmasını incelemişlerdir. Birinci model için incelme oranı yaklaşık %5, ikinci modelde incelme oranı yaklaşık %10, üçüncü modelde yükseklik merkezinden itibaren içeriye doğru incelen bir bina. Dördüncü model olarak da portatif bir kare prizma kullanılmışlardır. Rüzgâr doğrultusu 0° olduğunda ortalama sürüklenme kuvveti katsayısı üçüncü model için %11 model

birinci model için %7,7 azaldığı; dördüncü model için tüm yükseklik boyunca düzenli bir vortex biçim oluştuğunu tespit etmişlerdir.

Tamura vd. (2012), değişik şekillere sahip yedi bina üzerinde aerodinamik kuvvetleri ve basınçları incelemişlerdir. Bu modeller basit (kare, dikdörtgen vs.), köşeli, açık(bir yüzeyi delikli), yukarıya doğru incelen, helisel, boşluklu ve kompozittir. Dairesel modellerde bu değerler minimum değere inmektedir. Kare model için tüm vortex bileşenler yükseklik boyunca hemen hemen aynıdır. Çapraz delikli modelin dalgalanmalı lokal rüzgar kuvvetleri üzerinde ters bir etki oluşturduğu gözlenmiştir. 180° helisel modeller için vortisite dağılımının yükseklik boyunca düzensiz yönlendiği görülmüştür.

Letchford vd. (1995), 1:100 ölçekli model çalışmasıyla, düz çatılar üzerindeki ortalama basınç dağılımlarını, kentsel arazi şartlarına göre modellenmiş bir atmosferik sınır tabakadaki rüzgar tüneli ölçümlerinden elde etmişlerdir. Belli bir çatı eğimi ve rüzgâr açısı aralığı için gerçekleştirdikleri yerel ve alan ortalamalı ölçümler sonucunda, en kritik yüklerin akış ayrılmasının olduğu bölgelerde oluştuğu görülmüştür. 1:100 ölçekli çatı modelleri üzerinde yerel ve alan ortalamalı basınçları rüzgar tüneli ölçümleriyle belirledikleri çalışmalarında, kritik ortalama ve minimum emme basınçlarının akışı ayıran kayma tabakasının altında oluştuğunu belirlemişlerdir.

Tutar vd. (2002), farklı rüzgar açıları için, kare şekilli tek bir bina modeli ve iki paralel bina modeli etrafındaki türbülanslı akış alanının sonlu hacim yaklaşımıyla, farklı geometrik düzenlemeler için hesaplamışlardır. RNG sub-grid scale modelini kullanarak gerçekleştirdikleri çözümlerde, diğer türbülans modellerinden daha iyi sonuçlar elde etmişlerdir.

Nakamura vd. (1983), akış içerisine yerleştirilmiş kare kesitli cisimler etrafındaki ortalama akış üzerine, türbülans etkilerini incelemişlerdir. Üç boyutlu keskin kenarlı küt cisim etrafındaki ortalama akışta, türbülansın etkisini açıklamışlardır. Büyük skalaya sahip türbülans, kayma tabakasının dönmesini arttırırken küçük skalaya sahip türbülans kayma tabakasının büyüme oranını arttırdığını belirtmişlerdir. Aynı zamanda meydana gelen bu artışların karenin uzunluğuna bağlı olduğunu ifade etmişlerdir.

Murakami vd.(2010) İki paralel bina modeli için aynı yükseklikte farklı kanal genişliğine sahip (6m ve 12m) için rüzgâr tüneli sonuçları ile nümerik sonuçları karşılaştırmışlardır. RNG sub grid scale modeli ve deney sonuçları arasındaki uyumun tek bina konfigürasyonu için bina çatısı üzerinde olduğu görülmüştür. İki paralel bina modeli için aynı yükseklikte farklı kanal genişliğine sahip iki bina modeli için hesaplamalar yapılmıştır Daha büyük çevrinti ve daha yüksek hız büyüklükleri özellikle kanalların çıkışında bulunmuştur. Kanal genişliğindeki artışın çevrinti kuvvetlerinde bir azalmaya sebep olduğu görülmüş olup hız oranlarının kanalın girişinden 4,4m uzakta maksimum değere sahip olduğu ve tek bina modeli ile karşılaştırıldığında hızlarda bir artış olduğunu bulunmuştur.

Kumar vd. (1995), iki farklı arazi tipi için kısa bina modelleri üzerindeki basınçları ölçmüş, rüzgar basınç spektrasını belirlemişlerdir. Üç farklı eğimli çatı için ortalama ve çalkantı basınç ölçümleri gerçekleştirmişlerdir. Düz çatı köşe ve kenarlarında oluşan kuvvetli emme etkilerinin $22,5^\circ$ eğimli çatıda azaldığını ve 45° eğimli çatıda ise oluşmadığını belirlemişlerdir. Düz çatı ve dört farklı eğim açısına sahip beşik çatı modellerini için eğim açısının değişmesine karşılık çatı basınç dağılımlarının değiştiğini ortaya koymuşlardır. Çatı bölgesinde akış ayrılmasının meydana geldiğini bulmuşlardır.

Blocken vd. (2010), Rüzgar odaklı yağmur çökeltisi olarak adlandırılan WDR'nin bina modelleri üzerindeki etkileri parçacık görüntülemeli akış ölçüm cihazı (PIV) ve rüzgar tüneli deneyleri yapılarak sonuçlar fluent paket programı (CFD) ile karşılaştırmışlardır. Çalışmalarında alçak bir bina modeli, yüksek bir bina ve bu iki binanın karşılıklı etkisi incelenmiştir. Yağmur damlası hareketi 10 m/s referans rüzgâr hızı ile rüzgâr akış modelinde Lagrange parçacık izleme yöntemi ile simule edilmiştir. Alçak binaların varlığının WDR çökeltisi ve rüzgâr tarafından çok katlı binalara bir kalkan olamadığı sabit vortex kuvvetini artırarak daha yüksek bina cephesi üzerinde WDR yoğunluğunu artırdığı bulmuşlardır. Large Eddy Simulation yani LES modelinin bu çözüm için en uygun yöntem olduğunu savunmuşlardır.

Aygün vd. (2003), çok katlı bir bina konstrüksiyonu prototipi olarak Kızılay'daki Emek İş Hanı ile rüzgar tüneline deneyler yapılmışlardır. Bina modeli akışa göre 0° den itibaren 45° lik açılarla döndürülerek etrafında gelen hava akışının oluşturduğu basınç dağılım profilleri ayrı ayrı çıkartılmış, deneyler üç farklı tünel rejimi için

tekrar edilmiştir. Binaların yakın çevrelerinde oluşan rüzgâr etkileşimi ve buna bağlı olarak gelişen girdap sistemleri de konu ile benzerlik göstermektedir.

Blocen vd. (2011), Montreal şehrinde bir grup bina çevresinde kirlilik dağılımını rüzgar tüneli deneyleri yapılarak 2 farklı türbülans modeli için incelemişlerdir. Çalışmalarında model olarak gerçek kentsel bölgede yüksek bir bina ve yanındaki alçak bina kullanarak çalışmalarını gerçekleştirmişlerdir. İki farklı rüzgar doğrultusunda (Batı ve güney batı) nötr atmosferik koşullarında rüzgar tüneli sonuçları yüksek çözünürlüklü CFD sonuçlarıyla doğrulanmıştır. Türbülans modelleri olarak RANS ve LES modelleri kullanılmış olup LES yaklaşımının her iki rüzgâr doğrultusu için CFD ve deneysel sonuçlarla uyum sağladığı görülmüştür.

Blocen vd. (2007), Rüzgâr odaklı yağmur çökeltisi olarak adlandırılan WDR'nin basit alçak dikdörtgen bina üzerindeki etkileri fluent paket programı (CFD) ile çözmüşlerdir. Genel olarak sonuçlar arasında bir uyum olmasına karşılık bina cephesinin çatı çıkıntısına yakın yerlerinde önemli farklılık oluşmuştur. Bina cephesine dik rüzgar doğrultusunda CFD, WDR simülasyon sonuçlarının güvenilir sonuçlar sağlayabileceğini göstermişlerdir.

Tominaga vd. (2008) 3 farklı akış alanı oluşturularak Standart k- ϵ modeli, LES modeli ve DNS türbülans modelleri için rüzgar tüneli deneyleri yapılarak sonuçlar fluent paket programı ile karşılaştırılmıştır. Çalışmada basit bir kare prizma, bir şehir içerisine yerleştirilmiş yüksekliği artan bir bina ve gerçek kentsel bir alanda bina kompleksleri kullanılmıştır. LES modeli kare prizma için kullanıldığında bina arkasında girdap akınlarının oluşmuş olup Standart k- ϵ modeli kullanıldığında çatıda ters bir akış alanı oluşmuştur. Sonuçlar arasında küçük farklılıkların olduğu, ikinci akış alanı için 0° ve 45° rüzgâr doğrultusunda rüzgâr hızının yüksek olduğu ve hesaplama sonuçlarının deneysel sonuçlardan yaklaşık %15 daha düşük olduğu görülmüştür.

Özmen vd.(2008), yarı- elipsoid bir engel etrafındaki türbülanslı akış alanını deneysel ve sayısal olarak incelemişlerdir. Rüzgâr ölçümleri yapılmıştır. Realizable k- ϵ ve standart k- ω türbülans modelleri ile akış alanının iki boyutlu sayısal çözümleri elde edilmiş ve sonuçlar deneylerle karşılaştırılmıştır. Basınç katsayıları engel ön kısmında pozitif, engel arka kısmında ise, engelin üst ve yan kenarlarından akış nedeniyle negatif değerler aldığı görülmüştür. En kritik basınç değerini engelin tepe

noktasının önünde meydana geldiği görülmüştür. Çalışılan geometri için Standart $k-\omega$ türbülans modeli Realizable $k-\epsilon$ türbülans modeline göre daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür.

Flowe vd. (2000), $k-\epsilon$ türbülans modelini kullanarak değişik bina etrafındaki akış alanlarını FLUENT programı ile 3 boyutlu olarak incelemişlerdir. Bina genişliklerinin ve yüksekliklerinin değişimine bağlı olarak akış alanındaki ters akış bölgesi uzunluğunun değiştiğini ve bu durumun bina boyutlarının bir fonksiyonu olduğu sonucuna varılmıştır.

Lien vd. (2004), bir dikdörtgen model etrafındaki akış alanını türbülanslı sınır tabaka içerisinde iki boyutlu olarak sayısal hesaplamışlardır. Buldukları ortalama hız ve türbülans kinetik enerji profillerini rüzgar tüneli deneylerinin sonuçları ile karşılaştırmışlardır. Bu sonuçları dört farklı türbülans modeli için yapmışlardır. Bu modeller arasında en iyi sonucu doğrusal olmayan (non-linear) $k-\epsilon$ modelinin gösterdiğini bulmuşlardır.

Tsutsui vd. (2001) Akış kontrol yöntemi ile akış kontrolünü bir kare prizma etrafındaki ısı transferini arttırmak için kullanmışlardır. d/D oranını 0.1 ile 0.5 arasında 5 farklı değer için kullanarak ısı transferini arttırmışlardır. Isı transferinde en fazla artışın $d/D=0.3$ değerinde ve L/D mesafesinde olduğunu belirtmişlerdir. Akış kontrol elemanı kullanılarak, kullanılmadığı tek kare prizma durumuna kıyasla ortalama ısı transferinin %35 arttığı ve toplam sürüklenme kuvvetinin %70 azaldığını ifade etmişlerdir. Tsutsui vd. (2006) başka bir çalışmalarıyla da önceki akış kontrol yöntemini kullanarak dairesel bir silindir etrafındaki akış için yerel ve ortalama ısı transferini incelemişlerdir. Akış kontrol elemanı bulunması durumundaki silindirin ön yüzeyindeki ısı transferinin bulunmadığı tek dairesel silindire göre önemli ölçüde arttığını ve bunun toplam ısı transferinde %40'lık bir artış sağladığını bulmuşlardır.

Sarioğlu vd. (2005), kare bir prizmanın ön tarafına bir akış kontrol çubuğu yerleştirilmiş ve kare prizmanın hücum açısına bağlı olarak değişimi sağlanmıştır. Kontrol çubuğu etkisiyle sürüklenme kuvvetindeki en fazla düşüşün $L/D=2$ mesafesinde ve hücum açısının 0° değerinde olduğunu görmüşlerdir. tek kare modelden elde edilen değerin bu modelden elde edilen değere göre %70 azalma gösterdiği belirlenmiştir.

Zhang vd. (2006), Dairesel bir silindirin önüne yerleştirilen bir çubuk ile akış kontrolünü sayısal olarak CFD paket programı ile incelemişlerdir. Reynolds sayısının 200 değeri için farklı çap oranlarında, iki cisim arası mesafeyi bulmak için sürüklenme katsayısının minimuma düştüğü değeri kullanmışlardır. $d/D=0.3$ ve $d/D=0.5$ oranlarında sürüklenme kuvvetindeki maksimum azalmanın %28 ve %35 olduğunu bulmuşlardır.

Zhang vd. (2005), Akış kontrol yöntemleri ile, kare veya dairesele kesitli bir küt cisim kullanılarak, kontrol çubuğunun akışa göre cisim üst veya arka bölgelerine yerleştirilmesi ile küt cisimden ayrılan kayma tabakalarının etkisi incelenmiştir. Kare model önüne $L/D=1.5$ ve $L/D=4.7$ olduğu mesafelerde koydukları kontrol çubuğunu hem peş peşe hem de zikzak yerleştirerek akış durumunu incelemişlerdir. Çubuk ile kare model peş peşe yerleştirildiğinde sürüklenme kuvvetinin düştüğünü ve bunun sebebinin arka emme basıncındaki artış olduğunu belirtmişlerdir. Farklı zikzak düzenlemeleri için altı farklı akış yapısının oluştuğunu göstermişlerdir.

Mohammed (2006), farklı kare modellerle oluşturulmuş, ısıtılmış elektronik cihazların soğutulmasını, farklı hava hızları ve kanal yüksekliklerinde deneysel olarak incelemiştir. Ortalama ısı transfer katsayısının modellerin sıcaklığının artmasıyla çok az bir artış göstermektedir. Hava hızının artmasına bağlı olarak arttığı gözlemlenmiştir. Model yüksekliğinin akışkan yüksekliğine oranı arttıkça ise ısı transfer katsayısı arttığı belirlenmiştir.

Hana vd. (2002), Kare model ve, kübik sekiz dizi blok şeklindeki modeller üzerinden türbülanslı akışı, sonlu elemanlar akış çözümü kullanılarak yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar hidrolik su kanalı gözlemleriyle karşılaştırılmıştır. Blok uzunluğu 1.5 mm ve genişliği 50 mm, ve $Re=2.5 \times 10^3$ arasında alınmıştır. Kare modellerde akışkanın modeller arasındaki boşluk içerisinde akmaya çalışması, kübik sekiz dizi blok modeller üzerindeki akışa göre daha fazladır. Modeller arasındaki mesafe azaldığında, türbülans hızlarında küçük bir değişim olmuştur.

Meinders vd. (2002), Düz ve çapraz olarak yerleştirilmiş küp modeller etrafında tam gelişmiş türbülanslı kanal akış durumunda taşınım ile ısı transferine etkisi deneysel olarak incelenmiştir. Küpün $Re=3900$, küp yüksekliği 15 mm, kanal yüksekliği 51 mm olarak alınmıştır. Hız ölçümleri için LDA yöntemi, küpün sıcaklık dağılımını belirlemek için kızılötesi termografi ve akış görüntüleri için yağ-film teknolojileri

kullanılmıştır. Modeller küp üzerinden akıştaki yeniden birleşme olması ısı transferinde azalmaya neden olur. Küpler arasındaki mesafe akış ve ısı transferini etkiler.

2. BİNA AERODİNAMİĞİ

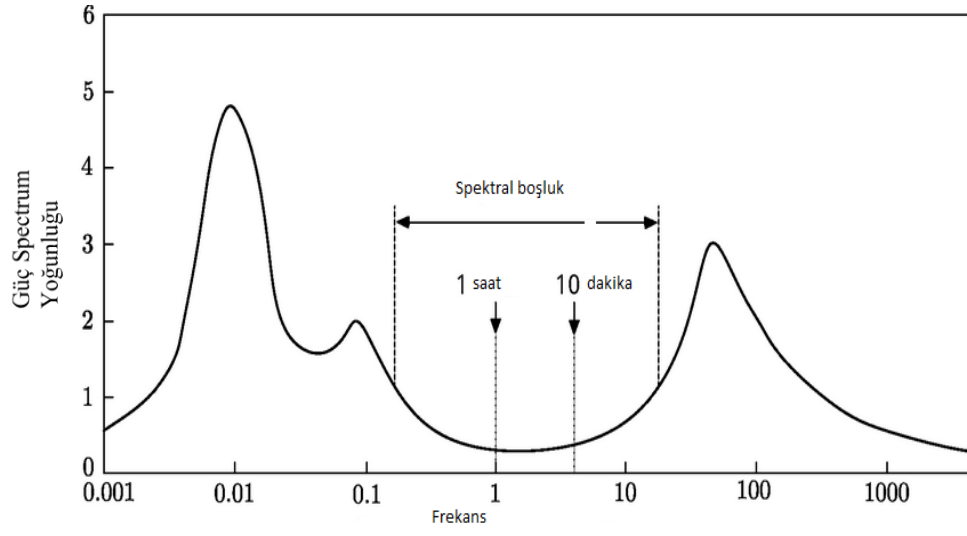
2.1 Rüzgâr ve Türbülans

Güneş, rüzgâr olarak adlandırılan hava hareketinde etkili olan birincil enerji kaynağıdır. Güneş ışınlarının yer yüzeyinin değişik bölgelerine farklı açılarda gelmesi nedeniyle atmosferdeki ısınma da farklı olmaktadır. Bu durum bazı bölgelerde yüksek, bazı bölgelerde alçak basınç değerlerinin oluşmasına yol açmaktadır. Bu iki merkez arasındaki basınç farkı rüzgârı meydana getirmektedir. Rüzgâr hızının, yönü ve şiddeti sürekli olarak değişmektedir. Genel anlamda rastgele olan bu değişimlerin periyotları ve genlikleri salınımlar şeklindedir. Rüzgar hızının doğrultu, yön ve şiddetindeki kısa süreli değişimler türbülans durumunu göstermektedir. Arazi yapısındaki doğal ve yapay engebeler, rüzgarın türbülans derecesini artırıcı yönde etki yapmaktadırlar.(Anysley, 1977)

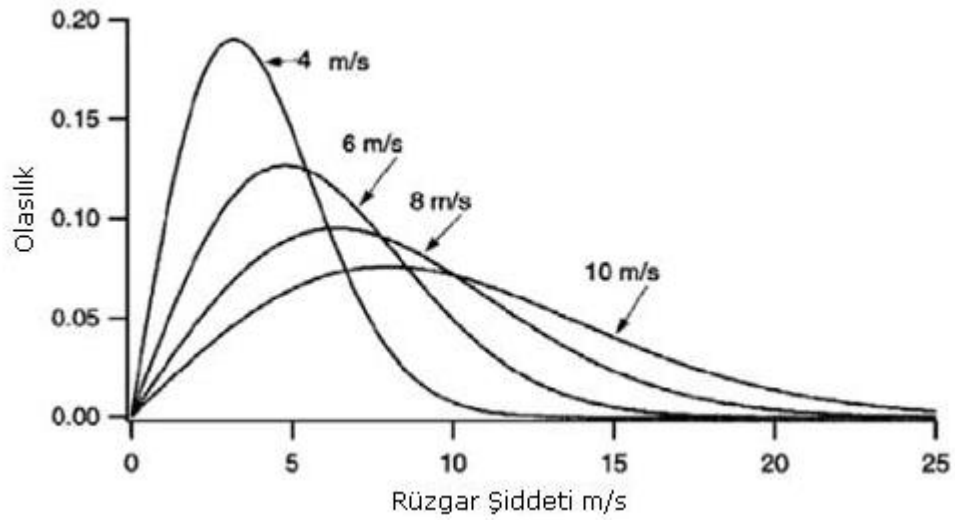
Denizlerde rüzgâr kuvvetini ölçme ve sınıflandırmaya yönelik ilk ölçek 1806 yılında Sir Francis Beaufort tarafından tasarlanmıştır. Beaufort ölçeği, esas olarak deniz durumu veya dalga şartlarına bağlı olarak rüzgarın şiddeti için bir ampirik ölçüdür. Tam olarak Beufort rüzgâr kuvvet ölçeği olarak adlandırılır. 0-12 Aralığını kapsayan bu ölçekteki sayılara karşılık gelen rüzgâr hızları, 1923 yılında G.C. Simpson tarafından belirlenmiştir. B, Beaufort kuvvet sayısını göstermek üzere, Tablo 2.1’de Beaufort ölçeğindeki rüzgar hızları verilmiştir.

Meteorolojistler, atmosferik hareketi büyük, orta ve küçük ölçekli olarak üç gruba ayırmışlardır. Büyük ölçekli (macroscale) hareketler, hava durumu haritalarında da gösterildiği gibi, oldukça geniş bölgelerde etkili olurlar. Orta ölçekli (mesoscale) hareketler, vadi rüzgârları ve bora tipi rüzgârları kapsayan 10-500 km arasındaki yatay mesafelerde oluşmaktadır. Küçük ölçekli (microscale) hareketler ise bölgesel olup, rüzgar akışının türbülansı ile ilgilidir. Küçük ölçekli hareketlerde hızın üç bileşeni de aynı büyüklük mertebesinde. Daha büyük ölçekli hareketlerde ise, hızın düşey bileşenleri, yatay bileşenlerinden çok daha küçüktür (Panofsky,1984) Issoc Van der Hoven tarafından oluşturulan ve benimsenen rüzgar hız spektrumu, basitleştirilmiş bir durumda Şekil 2.1’de görülmektedir. Spektrumla ilgili grafik, frekans aralığındaki değişimin, eğrinin altındaki alana eşit olduğunu gösterecek şekilde oluşturulmuştur. Spektrumda iki pik bariz bir şekilde görülmektedir. İlk pik (Synotik pik), ilerlemekte olan basınç farkının neden olduğu hız çalkantılarından

kaynaklanırken, ikinci pik türbülans piki olarak adlandırılır. Türbülans ve taşınım kaynaklı küçük ölçekli hareketlerle ilgilidir. Şekil 2.2’de ise rüzgar hızına bağlı olarak değişim gösterilmiştir.



Şekil 2.1 Rüzgar – hız spektrumu



Şekil 2.2 Rüzgar hızına bağlı değişim

Çizelge 2.1 Beaufort ölçeğindeki rüzgar hızları ([http:// en.wikipedia.org](http://en.wikipedia.org)).

Beaufort Sayısı (kuvvet)	Rüzgâr Hızı		Rüzgâr Adı	Dalga Yüksekliği [m]	Karasal Etkiler
	[km/h]	[m/s]			
0	0	0 - 0,2	Sakin	0	Hava sakin. Duman düşey olarak yükselir.
1	1 - 6	0,3 - 1,5	Esinti	0,1	Dumanda rüzgârın hareketi görülür.
2	7 - 11	1,6 - 3,3	Hafif Meltem	0,2	Rüzgâr yüzde hissedilir. Yapraklar hışıldar.
3	12 - 19	3,4 - 5,4	Tatlı Meltem	0,6	Bayraklar dalgalanır. Dal ve yapraklar sabit hızla hareket eder.
4	20 - 29	5,5 - 7,9	Orta Meltem	1	Toz, yaprak ve kâğıtlar havalanır. Ağaçların küçük dalları sallanır.
5	30 - 39	8,0 - 10,7	Serin Meltem	2	Rüzgârın gücü yüzde ve vücutta hissedilir. Küçük ağaçlar sallanır.
6	40 - 50	10,8 - 13,8	Kuvvetli Meltem	3	Rüzgâr uğultusu duyulur. Yürümek ve şemsiye kullanmak zorlaşır.
7	51 - 62	13,9 - 17,1	Fırtınamsı Rüzgâr	4	Ağaçlar sallanır. Yürürken denge bozulur.
8	63 - 75	17,2 - 20,7	Fırtına	5,5	Ağaçların dalları kırılır. Arabalar savrulur.
9	76 - 87	20,8 - 24,4	Kuvvetli Fırtına	7	Yapılarda hafif hasarlar görülür.
10	88 - 102	24,5 - 28,4	Tam Fırtına	9	Ağaçlar kökünden sökülür. Yapılarda önemli hasarlar oluşur.
11	103 - 117	28,5 - 32,6	Çok Şiddetli Fırtına	11,5	Yapılarda büyük hasarlar meydana gelir.
12	> 117	> 32,7	Kasırğa	14 +	Yapılarda ağır ve yaygın hasarlar meydana gelir.

Synoptik pik, 1000 km'lik yatay mesafelerde, rüzgar ve sıcaklığın büyük ölçekli yatay değişimleri ile bağlantılı kararsızlıklarla üretilirken; türbülans piki, birkaç 100 metrelik mesafelerde, rüzgar hızının ve sıcaklığının düşey doğrultudaki değişimlerinden doğan kararsızlıklar nedeniyle oluşmaktadır. Spektrumda pikler arasında, saatte 0.1 ile 10 Aralığında değişen bir frekansta dikkate değer geniş bir açıklık mevcuttur. Bu spektral boşluk, analizde farklı zaman ve mekân ölçeklerindeki atmosferik hareketleri ayırmayı mümkün kılmaktadır. Daha büyük ölçekli süreçleri küçük ölçeklilerden ayırmak için, 1 saatlik ortalama alınmasının uygun olacağı önerilmektedir. Mühendislik uygulamaları için daha kısa periyotlar kullanılmaktadır. Rüzgârın hızında ve yönünde meydana gelen küçük ölçekli çalkantılar, bina aerodinamiği açısından önemlidir. 15 dakikalık bir kayıt süresi, küçük ölçekli hareketlerde önemli frekans değerlerini yakalayabilecek şekilde yeterli olmaktadır. (Özmen, 2006)

2.2 Atmosferik Sınır Tabaka

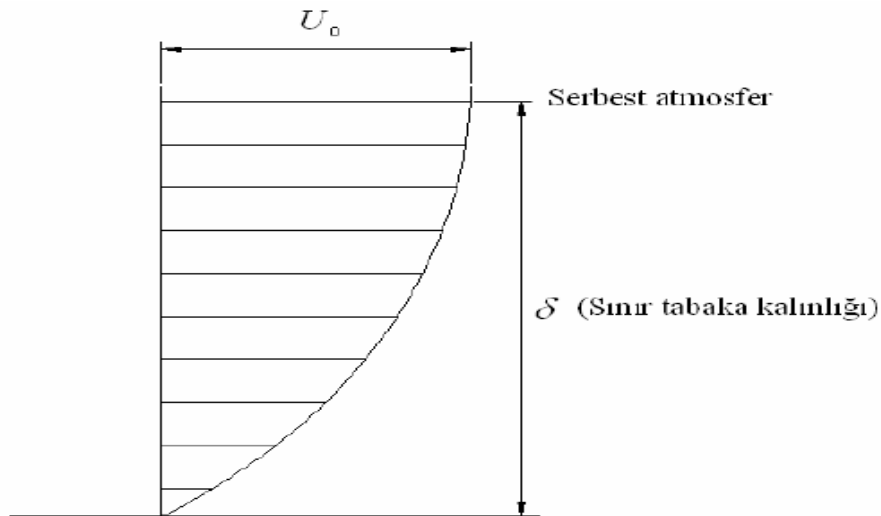
2.2.1 Atmosferik Sınır Tabakanın Özellikleri

Rüzgâr, dünya yüzeyi üzerinde belli bir yükseklikte ısı değişiklikleri sonucu eş yükselti noktaları arasındaki basınç farkları ile oluşan, büyük ölçekli serbest hava hareketleridir. Tropik iklimin hâkim olduğu sıcak bölgelerde, belli bir yükseklikte sıcak hava tabakası oluşurken, bir üst katmanda soğuk hava tabakası bulunmaktadır. Soğuk tabakadaki basınç sıcak tabakadaki basınçtan daha düşük olmakta ve hava yüksek basınç bölgesinden düşük basınç bölgesine akarken, atmosferdeki mekanik ve termodinamik olayların oluşmasına neden olmaktadır. Dünya yüzeyi üzerindeki hava hareketi, atmosferik sınır tabaka adı verilen, sürtünme etkilerinin hâkim olduğu bir tabakayı oluşturmaktadır. Bu tabakanın kalınlığı, rüzgâr yoğunluğuna, arazi pürüzlülüğüne ve enlem açısına bağlı olarak birkaç yüz metreden birkaç kilometreye kadar değişebilmektedir. Sınır tabaka içerisindeki rüzgâr hızı yükseklikle artmakta ve sınır tabakanın üst sınırındaki serbest akış hız değerine ulaşmaktadır. Bu kalınlık değişimi öncelikle, düşey doğrultudaki ısı transferi ile meydana gelmektedir. Yukarı yöndeki ısı transferi, sınır tabakadaki türbülansın şiddetine katkıda bulunmakta ve sınır tabaka kalınlığının artmasına yardım etmektedir. Aşağı yöndeki ısı transferi ise, sınır tabakadaki türbülansı azaltma etkisi göstermektedir. Sınır tabakanın üst kısmında, yüzey etkilerinin ihmal edildiği serbest atmosfer bölgesinde, rüzgâr eş basınç alanları boyunca yaklaşık serbest akış hızında esmektedir. Basınç gradyan

kuvvetine maruz kalan hava, yüksek basınçlı bölgelerden düşük basınçlı bölgelere hareket etmektedir.(Simiu, 1996)

Basınç gradyan kuvvetinin dışında, dünyanın dönme hareketinden ileri gelen, Coriolis kuvveti olarak adlandırılan bir sapıtma kuvveti de atmosferik sınır tabaka içinde etkili olmaktadır. Dünyanın açısal hızı ile orantılı olan bu kuvvet, hava parçacıklarını, kuzey yarımkürede hareket doğrultusunun sağına, güney yarımkürede ise hareket doğrultusunun soluna taşımaktadır. (Sachs, 1978)

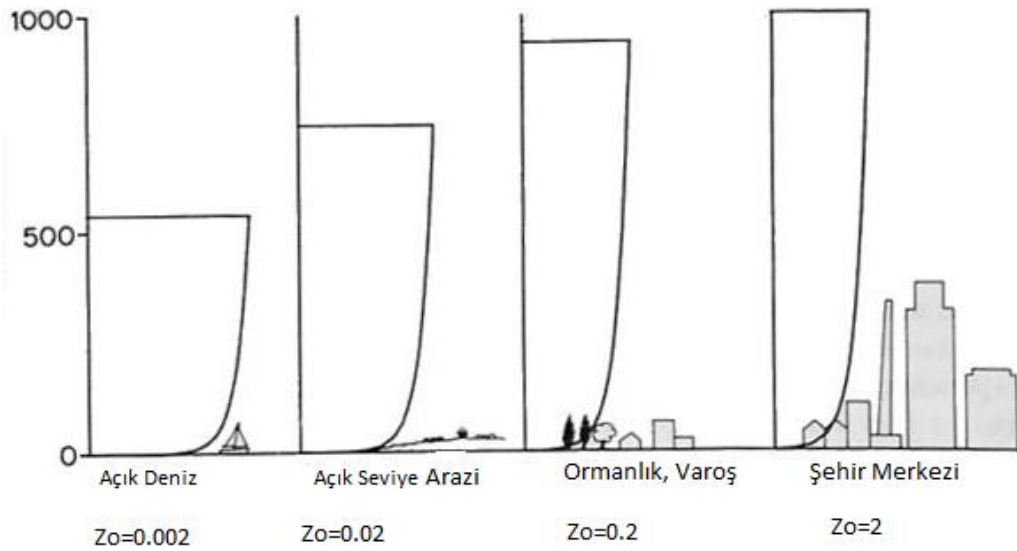
Dünya yüzeyi tarafından, hareket halindeki hava üzerine, akışı engelleyici yatay bir direnç kuvveti etki etmektedir. Bu kuvvetin akış üzerindeki etkisi, yükseklikle birlikte azalmaktadır. Sürtünme kuvvetlerinin etkisinin ihmal edilebildiği, atmosferik sınır tabaka üst kısmına da serbest atmosfer adı verilmektedir (Şekil 2.3). Sınır tabakanın milimetreler seviyesindeki kısmında moleküler özellikler, sıcaklık ve diğer ölçütlerin (skalaların) yapısına önemli ölçüde etki etmektedirler. Aerodinamik olarak pürüzsüz yüzeyler, yalnızca hafif rüzgârlı su yüzeyleri olarak göz önüne alınmaktadır. Moleküler sınır tabakanın üzerinde yüzey tabakası yer almaktadır. Gerilme ve diğer akışların düşey doğrultudaki değişimlerinin ihmal edilebildiği ve rüzgâr yönünün sabit olduğu bu bölge, yaklaşık 30 m yüksekliğindedir. Bu tabakada dünyanın dönme etkisi yerine, ısı tabakalaşma önem taşımaktadır. Yüzey tabakasının üzerinde, ısı tabakalaşma ile birlikte dünyanın dönme hareketinin etkili olduğu ve çoğunlukla “Ekman tabakası” olarak adlandırılan bölge yer almaktadır. Bu tabakanın 150 m lik kısmında, rüzgârın yükseklikle yön değiştirme etkisi genellikle ihmal edilmektedir (Panfsky,1974) .



Şekil 2.3 Atmosferik sınır tabaka

Atmosferik sınır tabaka içinde, yüzey pürüzlülüğü, sıcaklık ve diğer özelliklerin etkileri doğrudan türbülanslı karışım mekanizmasını etkilemektedir. Atmosferdeki ısı şartları ve topolojinin oluşturduğu karmaşık etkiler nedeniyle tam olarak tanımlanamayan sınır tabaka, karmaşık etkiler basitleştirilerek nötral atmosfer şartlarında incelenmektedir.

Atmosferik sınır tabakanın kararlı yüksekliği 100 m civarındadır. Ancak, bazen 10 m ile 500 m hatta daha fazla bir yüksekliğe kadar değişim göstermektedir. Bu değişim üzerinde güneş ışınımı şartları, rüzgâr yoğunluğu ve zemin özellikleri etkili olmaktadır. Sınır tabaka karakteristiklerini etkileyen önemli faktörlerden biri yüzey pürüzlülüğüdür (Parmentier, 2002). Şekil 2.4’de, farklı yüzey pürüzlülüklerinin sınır tabaka kalınlığı üzerindeki etkileri görülmektedir.



Şekil 2.4 Farklı arazilerde ortalama rüzgar profilleri (Mendis 2000)

Atmosferik sınır tabaka akışında, ortalama hız dağılımı

$$\frac{u}{U_o} = \left(\frac{y}{\delta}\right)^\beta$$

Şeklindeki üs kanunu ile ifade edilmektedir. u , yerden y yüksekliğindeki ortalama hız; U_o , sınır tabaka kalınlığı dışındaki serbest akış hızı; δ , sınır tabaka kalınlığıdır. Tablo 2.2’de görüldüğü gibi, β üssü arazinin pürüzlülük yapısına bağlı olarak değişmektedir.

Çizelge 2.2 Arazi tipi ile ilgili değerler (Aynsley,1977)

Arazi Tipi	β	Pürüzlülük Uzunluğu z_0 (m)	Sınır Tabaka Kalınlığı δ (m)
Açık deniz, Buz, Tundra	0,11	0,001	250
Küçük ve seyrek ağaçlı bölgeler	0,15	0,03	300
Küçük kasabalar, Bol ağaçlı bölgeler	0,25	0,03	400
Yüksek binalar, Kent ve sanayi bölgeleri	0,36	3	500

2.2.2 Atmosferik Sınır Tabakanın Modellenmesi

Atmosferik sınır tabaka akışı, düzlem levha üzerinde türbülanslı sınır tabakadaki akışa benzemektedir. Aerodinamik pürüzlülük, atmosferik sınır tabakanın laboratuvarında modellenmesinde önemli parametrelerden birisi olmaktadır. Tam aerodinamik pürüzlülüğün söz konusu olduğu akışlarda, yüzeye yakın bölgelerde moleküler viskozitenin etkileri ihmal edilebilmektedir. Yüzey üzerindeki pürüzlülük elemanlarının yükseklikleri laminar alt tabakanın yüksekliğinden daha büyük ise, tam aerodinamik pürüzlü akışlar meydana gelmektedir. Pratik açıdan dünyanın yüzeyi, aerodinamik pürüzlülük göstermektedir. Aerodinamik olarak pürüzlü bir yüzey üzerinde türbülanslı bir sınır tabakadaki akış, tamamen yüzeydeki engellerin geometrisine bağlı olmaktadır. Tekil bir engele bağlı olmayan bölgeler için akış, istatistiksel olarak pürüzlülük yüksekliğinin dağılımına göre değerlendirilmektedir.

Atmosferik sınır tabaka akışı ile düzlem levha üzerindeki türbülanslı sınır tabaka akışı, iki açıdan farklılık göstermektedir. Birincisi, doğal rüzgârda ortalama akışın yönü genellikle yükseklikle değişirken, düz levha üzerindeki sınır tabakada böyle değişimler olmamaktadır. İkinci ana fark, sıcaklık gradyanının kararlı ve kararsız olma durumuna bağlı olarak, potansiyel sıcaklık gradyanları sonucu oluşan havanın kaldırma etkilerinin, türbülans şiddetinde değişiklikler meydana getirebilmesidir. Doğal sınır tabakalarda türbülans üretiminin çoğu, yere yakın bölgelerde meydana gelmektedir. Bunun bir kısmı yutulurken, bir kısmı da difüzyonla üst bölgelere iletilmektedir. Yapay olarak geliştirilen bir sınır tabakada, türbülans enerjisini üst bölgelere transfer edecek bir mekanizma yoksa, enerji transferi işlemi oldukça yavaş bir şekilde gerçekleşeceğinden, sınır tabakanın bu bölgelerinde türbülans şiddeti çok düşük değerler alacaktır. Bu nedenle, enerji transferi işlemini hızlandırmak için, akışa bir karışım etkisinin verilmesi gerekmektedir (Armıtt, 1968).

2.3 Yapılar Üzerinde Rüzgâr Etkileri

Yapıların tasarımında rüzgârın statik ve dinamik etkilerinin göz önünde bulundurulması oldukça önemlidir. Önceleri, yapılar üzerinde rüzgârın sadece statik etkilerinin olduğu düşünülmektedir. 1950'li yıllardan itibaren araştırmalar rüzgârın dinamik etkilerine doğru yoğunlaştırıldı. Yapılan kapsamlı rüzgâr tüneli çalışmaları sonrasında bir yapı üzerinde rüzgârın dinamik etkilerinin de olduğu ve rüzgâr kaynaklı olumsuzlukların esasen dinamik etkiler nedeniyle olduğu anlaşılmıştır. Büyük fırtınalarda çatıların uçması önceleri rüzgârın bası etkisine bağlanıyordu. Ancak, gerçek sebebin rüzgârın çatılar üzerinde meydana getirdiği emme etkisi olduğu fark edilmiştir. Statik etkiler, rüzgâr tarafından yapının dış yüzeyinde oluşturulan basınç (basma ve çekme etkisinde), sürüklenme ve kaldırma kuvveti ile momentlerdir. Bu etkiler rüzgâr hızının karesi ile doğru orantılıdır. Bu nedenle yapının bulunduğu bölgedeki rüzgâr hızının uzun yıllar boyunca gözlenen en büyük değerlerinin bilinmesi oldukça önemlidir. Bu veriler ışığında, statik etkilerden doğabilecek zararlar küçük boyutta olup, önlenebilmektedirler.

Dinamik etkiler, özellikle yüksek binalar, asma köprüler, enerji nakil hatları, anten direkleri, kuleler ve petrol platformları gibi yapılar için büyük önem taşımaktadır. Rüzgârın doğası olan bu etkiler, rüzgâr hızının en büyük değerinden daha çok, hızın şiddet ve yönündeki yerel ve zamana bağlı değişimlerin frekans ve genliğine bağlı olmaktadır.

Bunun sonucu, yapılar rüzgâr doğrultusunda ve buna dik doğrultuda titreşimlere maruz kalmaktadırlar. Rüzgâr doğrultusundaki titreşimler, hızdaki azalma ve artmalarla ilgilidir. Yapının doğal frekansı ile aerodinamik kuvvetlerin frekansının çakışması durumunda, rezonansa giren yapı, titreşimlerin genliğinin büyümesiyle hasar görebilmekte veya yıkıma uğrayabilmektedir. Ancak, yapı elemanlarının bu titreşimleri söndürecek şekilde iç çalışmaları ve kısa periyotlar içinde rüzgar hızındaki değişimlerin az olması, rezonans olayını önleyebilmektedir. Yüksek bir yapı için tehlikeli olan titreşimler, rüzgâr doğrultusuna dik olan titreşimlerdir. Bu titreşimler, yapı etrafından geçen rüzgarın yapı arkasında oluşturduğu iz bölgesi ve beraberindeki girdaplardan kaynaklanmaktadır (Yüksel, 1972).

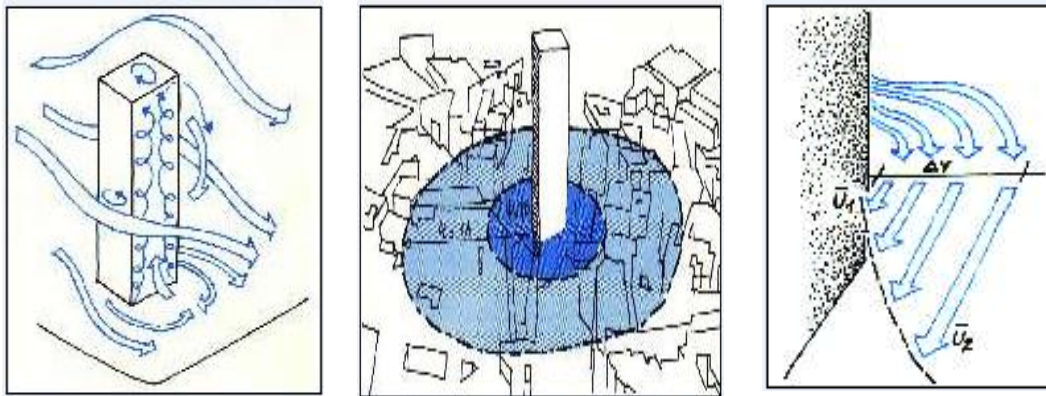
Rüzgâr, yeryüzünde hem ortalama yüklere hem de çalkantı yüklerine sahiptir. Bir yapının yüzeyi üzerindeki aşırı yükler, rüzgârın türbülansı ile ilişki olan basınç çalkantılarından kaynaklanmaktadır. Rüzgâr standartları ve pratik bina kodlarının

oluşturulmasında ve geliştirilmesinde, çalkantı basınçları ve pik değerleri büyük öneme sahip parametrelerdir. Rüzgâr basıncı çalkantı karakteristikleri ortalama rüzgar hızı ve yönü, arazi şartları, çevre ve yapı geometrisi gibi bir çok özelliğe bağlıdır.

2.3.1 Yerleşme Dokusu ve Bina Çevresindeki Hava Akımları

Sağlıklı bir kent; sağlıklı binalar, açık alanlar ve onları oluşturan eleman ve bileşenlerden oluşmaktadır. Dolayısıyla kentin bütününün iklimsel performansı binaların performanslarının toplamından oluşacaktır. Bina aerodinamiğinin ana konularından biri bina etrafındaki veya kentsel doku içerisinde oluşan hava akımlarının karakteristiklerinin ortaya konmasıdır

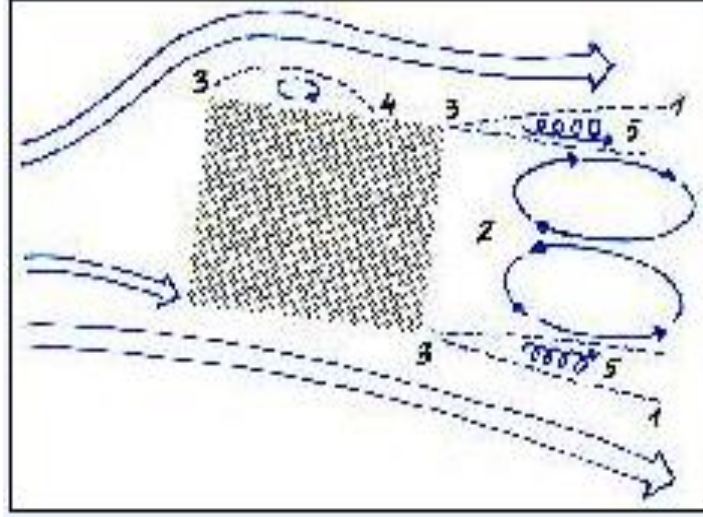
Kentsel alanla kırsal açık alan arasında hız profilindeki değişim şekil 2.4'de görüldüğü gibidir. Kentsel açık alanı oluşturan binalar aynen açık kırsal alandaki topografyanın etkisini yapmaktadır. Açık kırsal alanda oluşan akım tipleri ile kentsel alandaki akım tipinde farklılaşma olmakta, rüzgâr veya hava hareketleri düzgün olmaktan çıkıp türbülanslı, girdaplı duruma geçmektedir. Böylece kentsel açık mekân ölçeğinde hava hareketlerinin tipi yine geometrik özelliklerle bağlantılı olarak şekil 2.5'de görüldüğü gibi oluşmaktadır. Açık kırsal alanlarda oluşan dağ ve vadi rüzgârları gibi kentsel açık mekânlar arasında, mekânların ölçü, konum ve biçimlerine bağlı olarak periyodik hava akımları oluşmaktadır. Bunun nedeni de açık mekânları oluşturan yüzeylerin farklı zamanlarda ve miktarlarda güneş ışıınımı alarak ısınması veya soğumasıdır.(Ok, 2000)



Şekil 2.5 Binalar etrafında oluşan hava akımları şemaları (Gandemer,1984)

Düzenli birbirine paralel lifler halinde gelen hava akımları binaların rüzgâra açık yüzeylerinde pozitif ya da itme, yan ve rüzgâr altı arka yüzeylerinde ise negatif ya da

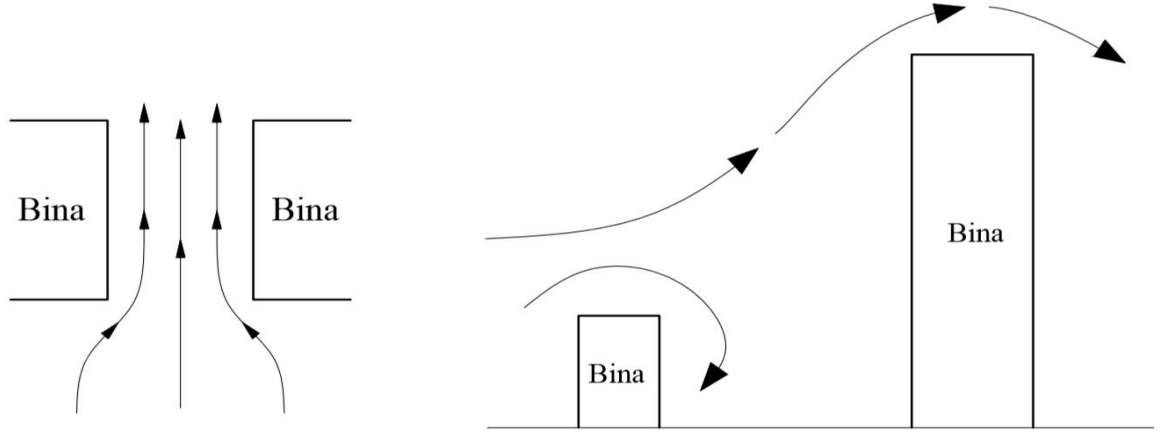
emme kuvveti şeklinde basınç etkisi yapmaktadır. Binaların rüzgâr üstü yüzeyine çarpan hava molekülleri yüzeye çarptığı anda duracak, yüzeyi yalayarak yönünü değiştirecek sonunda bu yüzeyden kopma noktasında ayrılarak yan yüzeyleri takip ederek bina arkasındaki iz bölgesini oluşturacaktır.



Şekil 2.6 Binalar etrafında oluşan hava (Gandemer, 1984)

Birbiri tarafından itilen ve farklı hız değerlerine sahip olan hava molekülleri girdaplar oluşturmaktadır. Zeminden itibaren gradyanlı bir hız profiliyle etki eden hava akımları binaların rüzgâr üstü bölgesinde yukardan aşağıya doğru etek girdaplarını ve bina arkasında saçak girdaplarını oluşturmaktadır. Bina çevresinde böylece hızı ve esme yönü değişken konforsuz alanlar oluşmaktadır. Binaların geometrisine ve ölçüsüne bağlı olarak değişen bu oluşum tasarım aşamasında yapılacak çalışmalarla giderilebilir. Özellikle yüksek ya da yatayda sürekli bina blokları olması durumunda bina çevresinde en az bina yüksekliği en fazla bina yüksekliğinin 5 – 7 katı kadar mesafelerde bu etkiler görülmektedir. Binaya etkiyen rüzgâr kuvveti, binanın bulunduğu yerdeki rüzgârın hızına bağlıdır. Doğal havalandırma sisteminin işlevini yerine getirebilmesi için bina dışı ve içi çevrede ek olarak rüzgâr kontrolü sistemi oluşturulur. Rüzgâr kontrol sisteminin amacı, rüzgârın hızının azaltılması veya arttırılması, doğrultusunun değiştirilmesi, hava kalitesinin istenen değerlere getirilmesi olarak sıralanabilir. Binalar kontrol altına alınmak istenen hâkim rüzgâra göre dar ya da geniş açıklıklar bırakacak şekilde konumlandırılarak açık mekânda rüzgâr hızının venturi olayı yaratılarak artmasına ya da azalmasına hizmet edebilirler. Binaların rüzgâr doğrultusunda bir kanal meydana

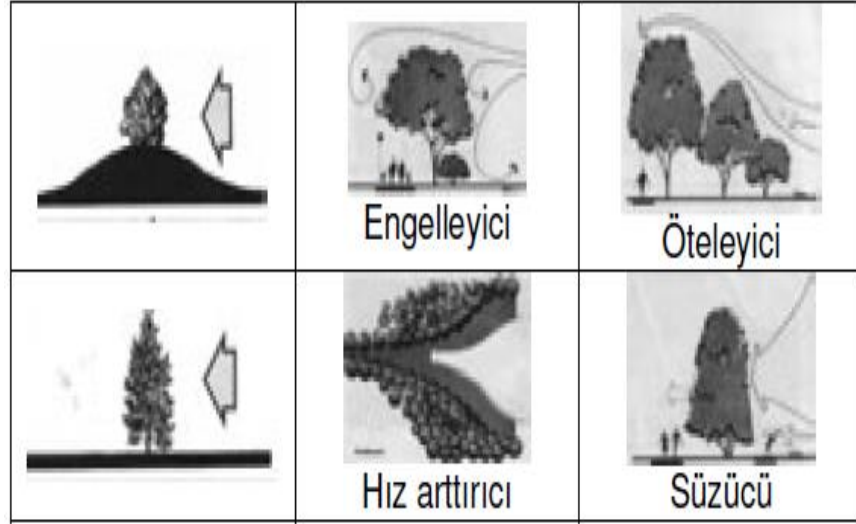
getirecek şekilde konumlanışları sonucunda venturi etkisi ile o bölgelerde hız artışları oluşabilecektir. Şekil 2.7’den görülebileceği gibi farklı yükseklikteki binalar rüzgâr doğrultusunda alçaktan yükseğe göre sıralandığında hava tabakasının aralarındaki alana girmeden ötelenmesine sebep olabilirler.



Şekil 2.7 Binaların yatay ve düşey düzlemde bir araya geldiğinde rüzgâr hızının arttırılması ve öteleme

Binaların rüzgârı alan cephelerinin konumu, kesit ve plan düzlemindeki biçimlenişlerine bağlı hava liflerinin yüzeyden kopma noktalarında girdap oluşturması dolayısıyla hız artışları olabilmektedir.

Bitkiler gibi canlı peyzaj elemanlarıyla bina dışı mekânlarda rüzgâr engellenebilir, istendiğinde hızı arttırılabilir, ötelenebilir içindeki partiküllerden arındırılmak için süzülebilir. Açık mekânların dinlenme eylemlerine ayrılmış alanlarında rüzgâr kırıcı eleman olarak düzenlenebilirler. Arka arkaya getirilen iki sıra ağaç ve çalı birbirlerinin geçirgen bölümlerini perdelediğinde rüzgâr altı bölgelerinde hız büyük oranda düşmüş olacaktır. Bitkiler venturi olayı yaratacak şekilde yan yana getirildiklerinde açık mekânın bir bölümünden diğerine geniş bir alandan giren hava dar alandan geçerken hız kazanacaktır. Rüzgâr yönünde ağaç boyları ve konumları ile yapılan düzenleme sayesinde hava kütlesi bunları aşarken en yüksek engele göre bir iz bölgesi oluşacağından hareketli hava ötelenmiş olacaktır. Bitkiler, yaprak biçimleri ve yaprak yoğunlukları oranında kendilerinin içinden havanın geçmesine izin vermektedirler. Yapraklarda tutulan nem, pürüzler nedeniyle de geçen havadaki asılı parçacıkların süzülmesine ya da havanın koşullanmasına yardımcı olurlar.

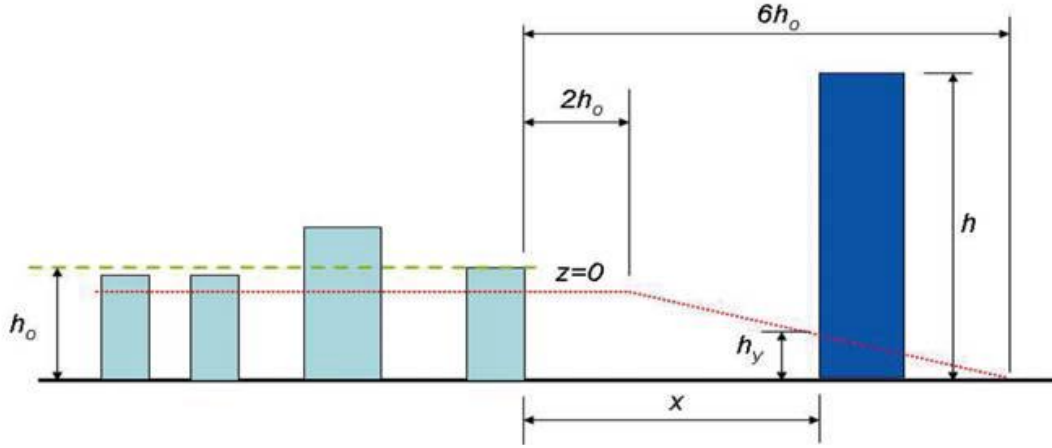


Şekil 2.8 Bitkilerden Yararlanarak Rüzgarın Engellenmesi, Hızının Arttırılması, (Robobinette, 1984).

Bina dışı çevrede bitkiler gibi yaşayan elemanların yanı sıra sert peyzaj elemanları da rüzgârı engellemek, ötelemek, belirli oranda geçirmek amacıyla tasarlanabilirler. En çok kullanılan eleman duvar tipidir. Uyarı panoları, sınır belirleyiciler, bölücü panolar bunlardan bir kaçıdır. Tamamen dolu olabilecekleri gibi belirli oranlarda geçirimli olabilirler.

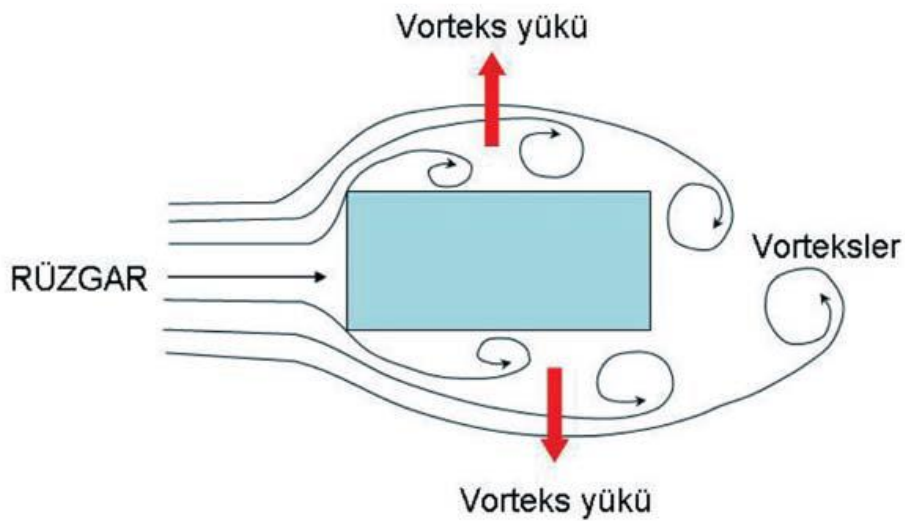
Bina yakın çevresinde az katlı yerleşme dokularında önerilen sert, yumuşak, doğal ya da yapay elemanlar bulundukları açık mekânın yanı sıra bina içi mekânlarda da rüzgârı kontrol etmeye yararlar. Yüksek binalarla düşeyde yoğunlaşmış yerleşme dokularında ise bina yakın çevresinde etek ve köşe girdaplarını kontrol etmek için bu tür elemanlar tasarlanmaktadır. Bina yakın çevresinde özellikle yayaların sıklıkla kullandıkları alanlarda yukarda açıklanan peyzaj düzenlemelerini yapmanın yanı sıra örneğin yangın merdivenleri gibi binaya ait uzantılar bir kontrol aracı olarak tasarlanabilirler. Az katlı ve az yoğun yerleşme içinde bina çevresinde yetiştirilecek bitkilerin konumları, gövde biçimlenişleri, gövde yükseklikleri, yaprak yoğunlukları yakın bina yüzeyindeki giriş açıklıklarından geçecek havanın hızını ve yönünü Şekil 2.9'da görüldüğü gibi değiştirebilmektedir. Yerleşmede ele alınacak bir bina yüzeyindeki hava akımı, yakın çevredeki engel olabilecek yapıların biçim-konum ve ölçülerine bağımlılık göstermektedir. Binanın yüzeyini etkileyecek dinamik ve statik basıncın şiddeti yüzeyin rüzgârı alış açısıyla doğrudan ilişkilidir. Bu nedenle; binanın biçimlenişi, dış yüzeyin eğimi, yönlenişi, hacim organizasyonu ve dış yüzeyin pürüzlülüğü ile rüzgâr kontrolü gerçekleştirilebilecektir.

Rüzgâr etkisi hesaba katılmadan yapılan iklimsel performans değerlendirmesi gerçek koşulları yansıtmayacağından yetersiz kalacaktır. Günümüzde aerodinamiğin sunduğu olanaklardan yararlanarak tasarım aşamasında daha gerçekçi benzetimler yapılabilmektedir.



Şekil 2.9 Çevredeki yapıların ortalama rüzgâr hızı profiline etkisi

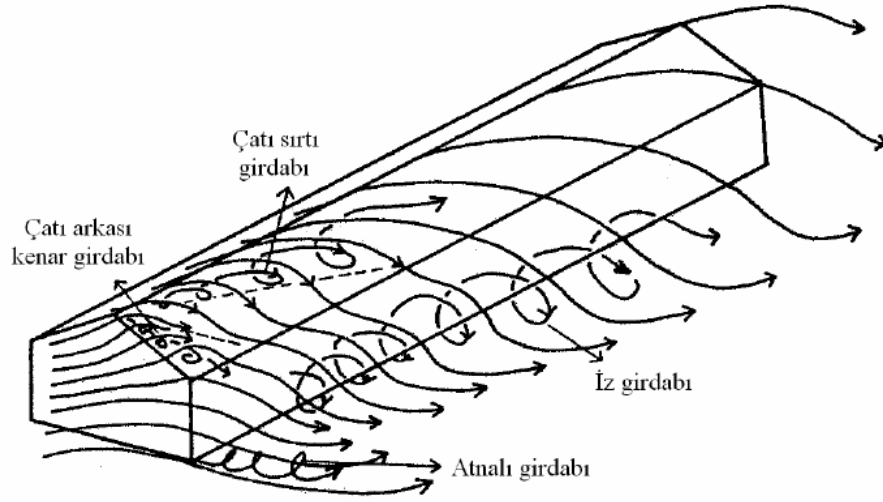
Rüzgârın oluşturduğu hava akımı binanın yan yüzleri etrafından geçerken Şekil 2.10'de şematik olarak gösterildiği türde girdaplar oluşur. Girdaplar değişken olarak (önce bir yan yüzde, sonra karşı yan yüzde) oluştuğu için girdapların yarattığı dinamik yükler de değişken yönlü olup rüzgâr akış yönüne dik doğrultuda etkirler. Girdap yükleri çok belirgin ve dar bir frekans bandında etkidiği için sinuzoidal bir yük olarak tanımlanabilirler



Şekil 2.10 Vorteks yüklerinin oluşumu

2.3.2 Alçak Binalar Üzerinde Rüzgâr Etkileri

Bir binaya yaklaşan rüzgâr, binanın üzerinden ve etrafından geçmek durumundadır. Bu nedenle rüzgâr yönünü değiştirir ve saçaklar, çatı sırtları, duvar köşeleri gibi binanın ön kenarlarından ivmelenirken, bu elemanlar üzerinde çekme kuvveti etkisine neden olacak akış ayrılması ve girdap oluşumuna ortam sağlar. Şekil 2.11’de görüldüğü gibi, binaların arka taraflarında meydana gelen dört tip girdap vardır. Bunlar, çatı sırtından ayrılmış akışın ürettiği çatı sırtı girdabı, çatı kalkanı üzerinden ayrılan akışın ürettiği çatı arkası kenar girdabı, arka yan kenarların oluşturduğu at nalı girdap ve arka duvar boyunca meydana gelen iz bölgesi girdabıdır. Girdaplar, meydana geldikleri bölgede, basıncın negatif değerler almasına ve emme etkisinin oluşmasına neden olurlar (Metha, 1992).



Şekil 2.11 Tipik bir bina etrafında oluşan girdap tipleri (Metha, 1992)

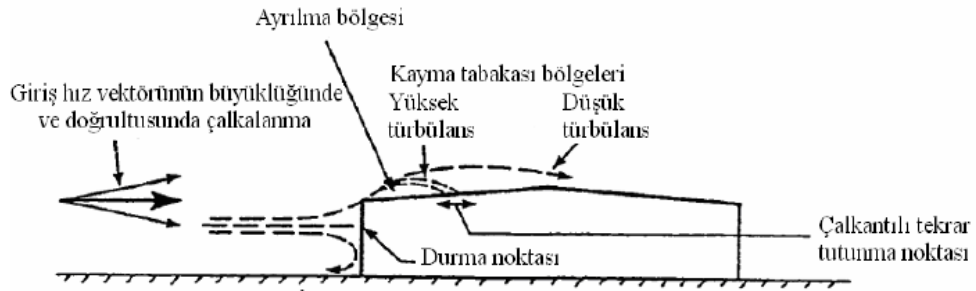
Rüzgâr nedeniyle binalar üzerinde oluşan aerodinamik basınçlar etkisinde binalar hasar görebilmektedirler. Binanın rüzgâra karşı duvarları pozitif etkili basınçlara maruz kalırken, negatif etki yapan basınçlar binanın duvarları ve çatısı üzerinde çekme etkisi oluştururlar. Hava parçacıkları binanın keskin köşelerinden geçerken, akış ayrılması nedeniyle, duvar kenarları, saçaklar, çatının sırt ve köşelerinde yüksek derecede yerel negatif etkili basınçlar meydana gelmektedir. Bu yerel etkiler, gelen rüzgâra göre, binanın yerleşimi ve geometrisi ile çok yakından ilgilidir. Farklı rüzgâr açılarında, binanın değişik elemanları kritik yükler altında kalabilmektedir (Kumar, 1997). Bu yerel basınçlar, çatıyı ve kaplama malzemelerini yerinden oynatmaya çalışmakta ve duvar ile çatı arasındaki bağlantıların kopmasına neden olmaktadır. Alçak binalarla ilgili rüzgâr hasar raporlarına göre, çatılar üzerinde ciddi hasarlar

oluşmaktadır. Çatı üzerindeki basınç dağıtımı, büyük ölçüde çatı eğimine bağlıdır. 30°'den daha büyük eğimler için çatının rüzgâr tarafındaki yüzeyi üzerinde basınçlar genellikle pozitifdir. 30°'den daha az eğimler için bu yüzey emme etkisine maruz kalmaktadır. Emme etkisi yaklaşık 10°'de en büyük değere erişmektedir. Şiddetli rüzgârlarda, çatının hatta tüm binanın ağırlığını karşılayacak değerlere erişen bu emme etkisi, çatıyı kaldırabilmekte ve binayı devirebilmektedir. Düz ya da az eğimli çatılarda, çatı sırtına dik doğrultuda gelen rüzgâr, önündeki saçaklarda ve çatı sırtında yüksek emme etkileri oluşturmaktadır. Eğik gelen rüzgâr genellikle ön çatı köşesinde istenilmeyen kaldırma kuvvetlerinin oluşmasına yol açmaktadır. Çatı sırtına paralel gelen rüzgâr, çatı kenarı ve çatı yan duvarları üzerinde oldukça büyük yükler oluşturabilir. Değişik rüzgâr yönlerinin birçoğunda, binanın dört duvar köşesinin ikisi aşırı yüklenme altındadır. Bir binayı çevreleyen duvarların dış yüzeyleri üzerine etkiyen dış basınçların yanı sıra, binanın tasarımı ve yapı bileşenlerinin mevcut hava geçirgenliği nedeniyle, iç basınç da çoğu zaman statik basınçtan farklıdır. İç basınç, binayı çevreleyen duvarlar üzerindeki yüklemeyi olumsuz yönde etkileyebilmektedir. Rüzgâr tarafındaki açık kısımlar genellikle bina içindeki basınçta bir artışa neden olurlar. Bu basınç artışı çatı, arka duvar ve yan duvarlar üzerindeki çekme etkisindeki basınçlara katkı yaparak, bu yapı bileşenleri üzerindeki kuvvetlerin artmasına neden olacaktır (Minor, 1979). Bunun aksine, yan veya arka duvarlardaki açıklıklar iç basınçta bir azalmaya neden olmaktadır. Böyle bir basınç düşüşü, rüzgâr tarafındaki duvarlar üzerindeki basma etkili basınçların etkisini artıracaktır. Buna karşın, iç basınçtaki bu azalma, çatının dış yüzeyleri üzerine etkiyen çekme kuvvetlerinin etkisini azaltacaktır. Bina bütünlüğünü kaybettiği zaman yerel bir bileşendeki hasar, bütün binanın yıkılmasına sebep olabilecektir. Ayrıca, binanın genişliği iç ve dış yüzeyler üzerindeki basınç dağılımlarını önemli ölçüde etkilemektedir. Farklı yükseklikteki bitişik binaların varlığı, yan duvarlar üzerindeki emme etkilerini arttırmakta fakat rüzgâr tarafındaki ön duvar, çatı ve arka duvar üzerindeki basınçlar diğer binaların yakınlığı nedeniyle değişmemektedir. (Sachs, 1978)

2.3.3 Akış Yapısı

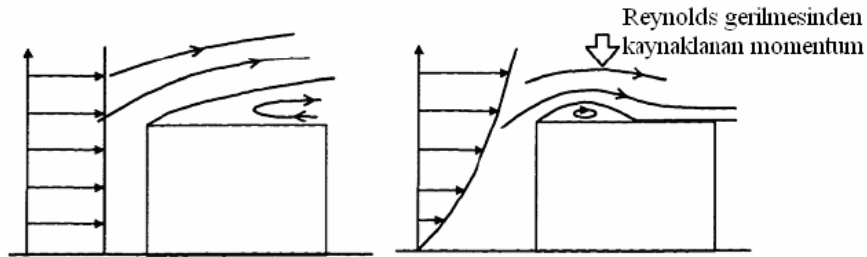
Bir binanın çatı ve duvarlarının keskin kenarlarına doğru gelen akışta serbest bir kayma tabakası oluşur ve bu tabaka ile bina yüzeyi arasında ayrılma bölgeleri meydana gelir (Şekil 2.12). Bu ayrılma bölgeleri, rüzgâr tarafındaki kenarlarda

büyük çekme etkileri üreten düşük basınçlı geniş alanlara yayılırlar ve akışın cisim üzerinde tekrar tutunup tutunmamasına bağlı olarak çatının bir kısmını veya tümünü kaplayabilirler. Akışın tutunması, ayrılma bölgesini sınırlayan kayma tabakasının şeklinden ve büyük ölçüde, gelen akışın türbülans karakteristikleri ile çatı eğiminden etkilenmektedir. Bu nedenle akışın çatı üzerinde tekrar tutunma yeri hassas bir şekilde belirlenemeyip, çalkantılı bir tutunma noktasından veya tutunma bölgesinden bahsedilebilir.



Şekil 2.12 Alçak bir bina etrafındaki akış (Holmes, 1983)

Düz çatılı bir binaya yaklaşan rüzgârın, Şekil 2.13’de görüldüğü gibi, üniform ya da sınır tabaka tipinde bir akış olması durumuna göre, çatı üzerindeki akış alanı ve basınç dağılımı farklılık göstermektedir (Cook, 1985). Üniform akış tipinde rüzgâr, binanın ön üst kenarından itibaren çatı üzerine doğru yükselir. Ön kenarlardan ayrılan akış çatı üzerinde tekrar tutunmamaktadır. Sınır tabaka tipi akış durumunda ise, rüzgâr binanın 2/3 yüksekliğinden itibaren çatı üzerinden yükselir. Ortalama hız profilinden dolayı yer değiştirmiş akış daha yüksek kinetik enerjiye sahiptir ve ayrılmış akış çizgileri yüzeye daha yakındır. Bu durumda, ayrılma sınırı boyunca kayma tabakasındaki girdaplar ve ayrılmış akışı aşağı doğru harekete yönelten Reynolds gerilmeleri, çatı üzerinde çok daha erken bir tutunmayı sağlarlar.



Şekil 2.13 Farklı giriş profilleri için düz çatı üzerindeki akış (Young, 1997)

Keskin kenarlı prizmalar etrafındaki akış, dairesel silindir şeklindeki diğer küt cisimler etrafındaki akıştan açıkça farklılık gösterir. Keskin kenarlı geometri farklı ayrılma noktaları oluşturmaktadır. Küt cisimler üzerindeki sabit ayrılma noktaları, basınç dağılımlarının Reynolds sayısının bir fonksiyonu olmadığını göstermektedir. Türbülanslı sınır tabaka akışı içerisinde bulunan bir cisim etrafında, farklı özelliklerde akış bölgeleri meydana gelmektedir. Bunlar ayrılma, tutunma, durma, ters akış ve girdaplı akış bölgeleridir. Gelen akış cismin varlığından etkilenmekte, hızını ve doğrultusunu değiştirerek cismin etrafından ve üzerinden geçmeye çalışmaktadır. Akışın öncelikle çarptığı cismin ön yüzeyindeki basınçlar, çevre basıncından daha yüksek olmaktadır.

Cismin rüzgâr tarafındaki alt kenarında oluşan at nalı girdaplar, cismin yanlarından geçerek arkasına doğru hareket ederler. Cismin arkasında gözlenebilen bu yapının genişliği, gelen akışın türbülans şiddetiyle ilişkili olmaktadır. Türbülans şiddeti arttıkça, bu yapı daha hızlı bir şekilde dağılmaktadır. Prizmatik cismin arka duvarının kenarlarında sıralanmış cismin genişliğinin %30'u çapında ikili bir girdap yapısı oluşmaktadır. Cismin arkasında oluşan kavite bölgesi, düşük hızlara ve yüksek türbülans şiddetine sahip bir ters akış bölgesidir. Kavite bölgesinden sonra oluşan ve ayrılmış tabakaların yöneldiği iz bölgesi, akış boyunca yayılan düşük basınçlı, türbülanslı bir ters akış bölgesidir. İz bölgesinin durumu ve şekli, çatı ve yan duvarlar üzerinde akışın tutunup tutunmamasına bağlı olarak değişecektir. Buna karşın, uzunlukları yüksekliklerinden daha fazla olan alçak binaların çoğu için genellikle, akışın tutunması bina yüzeyi üzerinde olmaktadır (Young, 1997)

2.3.4 Ayrılmış Akışlar

Viskoz bir akışkan, hareketi sırasında büyük ölçüde katı yüzeylerle temas halindedir. Bu katı yüzeylerin üzerinde, yüzeye bitişik ince bir bölge içinde viskoz kuvvetlerin olduğu laminer ya da türbülanslı bir sınır tabaka gelişir. Sınır tabaka dışında kalan bölgede ise akış sürtünmesiz, ideal akıştır. Sınır tabaka içindeki akışkan parçacıklarının, yüzey boyunca akışlarını sürdüremeyip yüzeyden sapmalarına sınır tabaka ayrılması denir. Giderek eğimi artan yüzeylerde basınç kuvvetinin akışkan parçacıklarının momentumundan büyük olması ile birlikte akış ayrılması başlar. Ayrılma noktasından itibaren artan basınç, net basınç kuvvetinin sınır tabaka içinde akışa karşı etki etmesi cidara yakın kısımlarda kinetik enerjinin azalmasına ve geriye doğru ters akışın ortaya çıkmasına neden olur. Ayrılma noktasında hız gradyanı ve

dolayısıyla yüzeydeki kayma gerilmesi sıfırdır. Laminer ve türbülanslı akışta aynı nedenlerle ortaya çıkan bu ters akış, sürüklenme katsayısının ve sürüklenme kuvvetinin de artmasına neden olur.

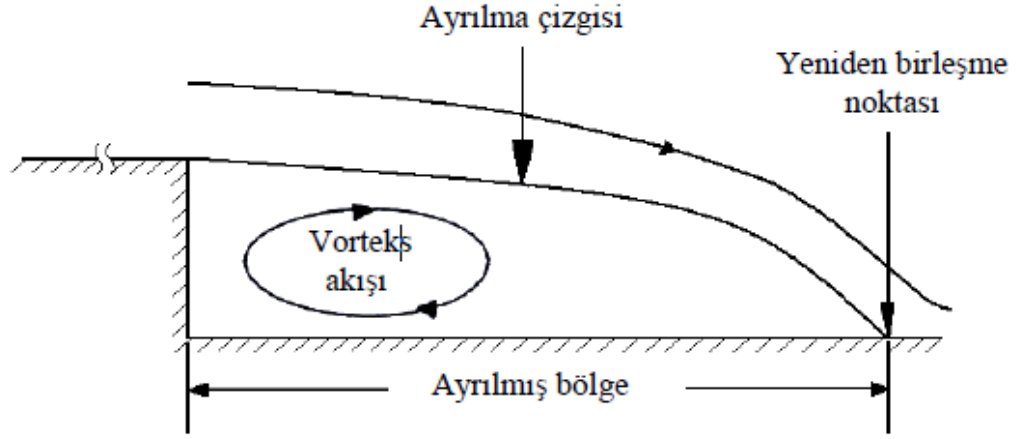
Katı yüzey sıcaklığı ile akışkanın sıcaklığı farklı olduğunda yüzeye bitişik ısıl sınır tabaka meydana gelir. Sınır tabakanın ayrılması hız alanını değiştirdiğinden, ısıl sınır tabaka içindeki sıcaklık alanını ve dolayısıyla yüzey ısı akısını da etkiler. Ayrılma çizgisinin altında oluşan düzensiz büyük ediler ısı enerjisinin artmasına neden olur.

Ardışık bina üzerinden akıştaki akış alanı, vortekslerden kaynaklanan ölü bölgeler ve akış ayrılmasından dolayı çok karmaşık bir yapıya sahiptir. Binaların varlığından dolayı akış çizgileri bozulur, akış yüzeyden ayrılır ve tekrar birleşir.

Yeniden birleşmeyle birlikte ayrılmış akışın varlığı sürekli rejimden sapmaya, basınç salınımlarına, titreşim ve gürültüye sebep olurken aynı zamanda akışkanın karışmasını sağlayarak ısı ve kütle transferini arttırdıkları için tercih edilirler. Yapay olarak bloklarla oluşturulan bu yüzey pürüzlülüğü, akışın rahatsız edilmesiyle türbülans karışımını arttırarak, ısıl sınır tabakayı kırarak ve ısı transfer yüzey alanını arttırarak ısı transferini artırır. Bu durum dirençteki istenmeyen artışı da beraberinde getirir. Isı transferindeki artış, basınç düşümündeki artışla birlikte olur ki ısı transfer artışından kaynaklanan enerji kazancını, bu basınç düşümündeki artış yok edebilir. Bu nedenle bloklarla pürüzlendirilmiş yüzeyin şekli ısıl performans analizi yapılarak optimize edilmelidir (Aung, 1983).

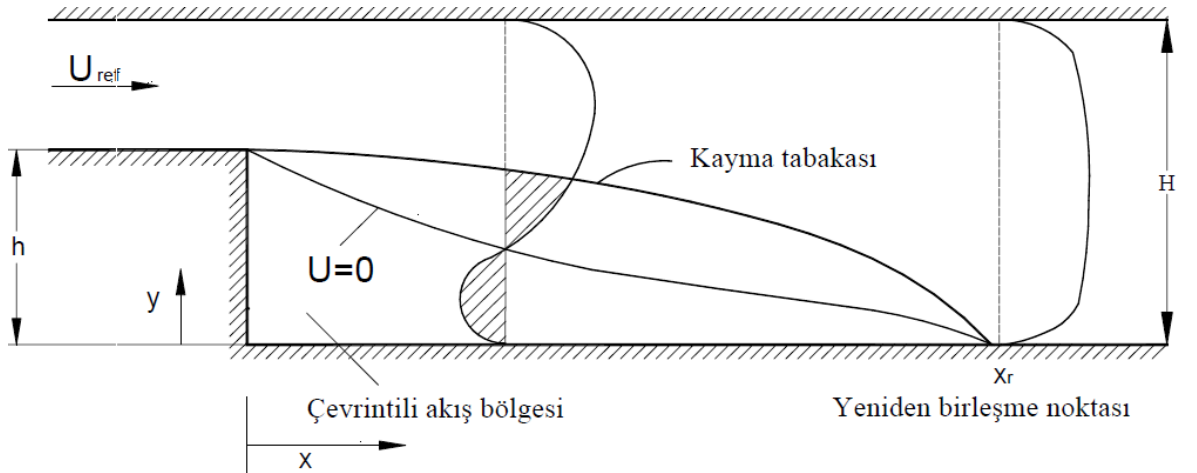
2.3.5 Geri Basamak Akışı

İki boyutlu geri basamak akışı, ayrılma noktasının basamak köşesinde ve ayrılma çizgilerinin düzgün olduğu, en basit yeniden birleşen kayma akışıdır. Bir geri basamak üzerinde akışın analizinde, sınır tabaka basamak kenarında yüzeyden koparak basamağın arkasındaki alt yüzeyle birleşir. Ayrılmış akış çizgisiyle basamak yüzeyi arasında Şekil 2.14’de görüldüğü gibi döngülü bir akış (vorteks akışı) oluşur.



Şekil 2.14 Geri basamak akışında akış bölgeleri (Aung 1983).

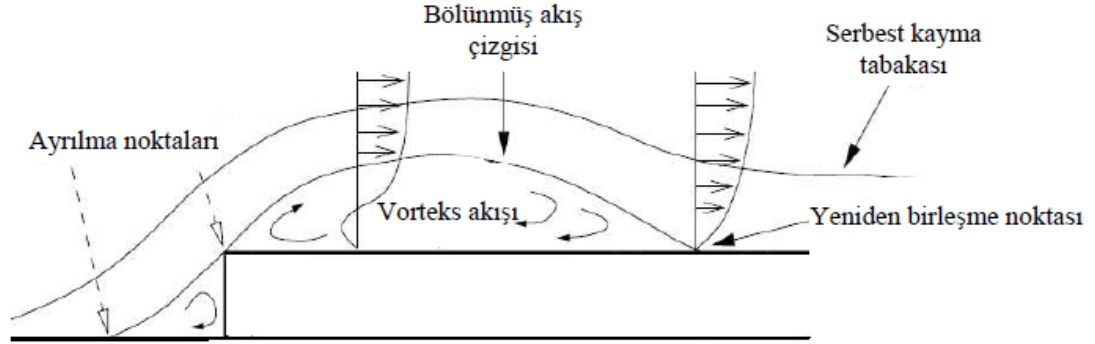
Basamaktan sonraki ani düşüşte, basıncın bağıl olarak düşük değerler alması, hızın normal bileşenini düşürür. Bunun anlamı akış çizgilerinin duvara doğru hareket ettiğidir. Bu etki basamağın üstüne yayılır ve akış çizgilerinin eğriliği basamağın üstünü kaplar. Basamağın üstündeki akış çizgisi eğrisi belli belirsizdir ve akış çizgisi eğriliğinin etkisi basamak üstündeki akış çizgilerini duvara paralel hale getirir. Bu akış çizgileri yeniden birleşme için duvara temas etmeden önceye kadar basamak üstünde aynı yönde devam eder. Basamak üstündeki bu eğrilik etkisi ısı transferini artırır. Sınır tabakayla kontrol edilen yeniden gelişen bölge bir yeniden birleşme noktasıyla sınırlanır. Maksimum ısı transferi yeniden birleşme noktası civarında olduğundan dolayı yeniden birleşme uzunluğunun kontrol edilmesi gerekir. Yeniden birleşmeden sonraki yeniden gelişim alanında hız dağılımı yavaş yavaş dengeli sınır tabakaya dönüşür.



Şekil 2.15 Bir kare yüzeyinden akış ve kayma tabakasının gösterimi

2.3.6 İleri Basamak Akışı

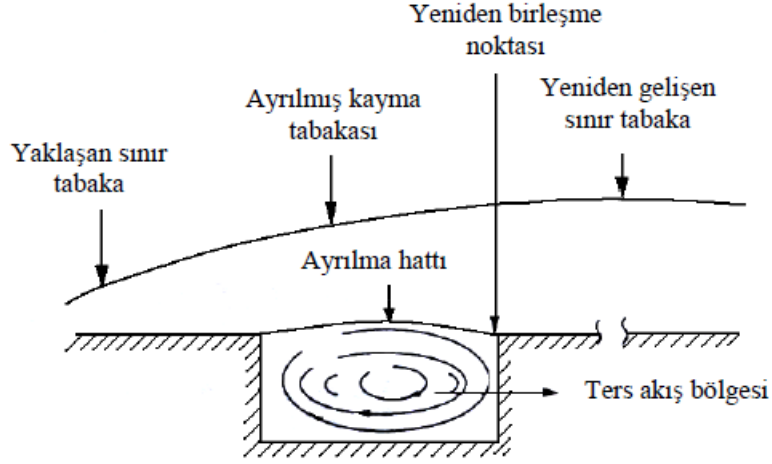
Şekil 2.16’de görüldüğü gibi ileri basamak akışta serbest kayma tabakası içinde, yüzey üzerinde ve yüzey ön yüzünde, yeniden birleşmede etkili olan ve akışa ters yönde hareket eden vorteksler oluşur. Serbest kayma tabakası, düşük akışkan hızıyla kaplanan yeniden dolaşım tabakalarından bölünmüş akış çizgisiyle ayrılır. Bölünmüş akış çizgisinin altında ise bir yeniden birleşme bölgesi oluşur.



Şekil 2.16 İleri basamak akışında akış bölgeleri (Sherry 2009).

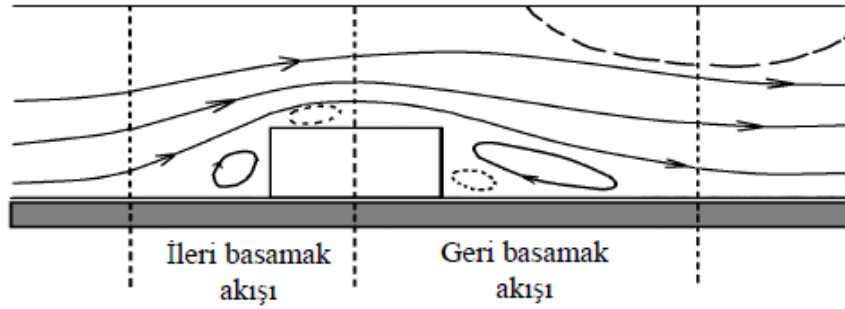
2.3.7 Boşluk (Çukur) Akışı

Dikdörtgen şeklindeki bir boşluk üzerinden akışta sınır tabaka, Şekil 2.17’de gösterildiği gibi, boşluğun dikdörtgen profiline doğru yaklaşırken bir ayrılmış kayma tabakası boşluğun açık yüzüne doğru oluşur ve akış yönündeki karşı duvarda yeniden birleşir. Kayma tabakasındaki bazı akışkanlar boşluk içinde ters akışa girer. Kayma tabakası dışındaki akışkan akış yönünde ilerlerken, bölünmüş akış çizgisi, ters akışları ayırır. Yeniden birleşmeden sonra sınır tabaka yeniden gelişmeye başlar. Kayma tabakasının durgun akışkanın veya izotermal alanın üstünü örttüğü varsayıldığından boşluktan olan ısı transferi tamamen kayma tabakasıyla yönetilir. Ayrılmış akış çizgisiyle boşluk arasında geri basamak akışındakine benzer döngülü bir akış oluşur.



Şekil 2.17 Boşluk akışında akış bölgeleri (Aung 1983).

Tek bir bina üzerinde akış analizinde akış, Şekil 2.18’de görüldüğü gibi, ileri ve geri basamak olmak üzere iki kısma ayrılır. Bloğun ön kısmında ileri basamak akışı, arka kısmında ise geri basamak akışı elde edilir.



Şekil 2.18 Tek bir bina üzerinde akışta akış bölgeleri.

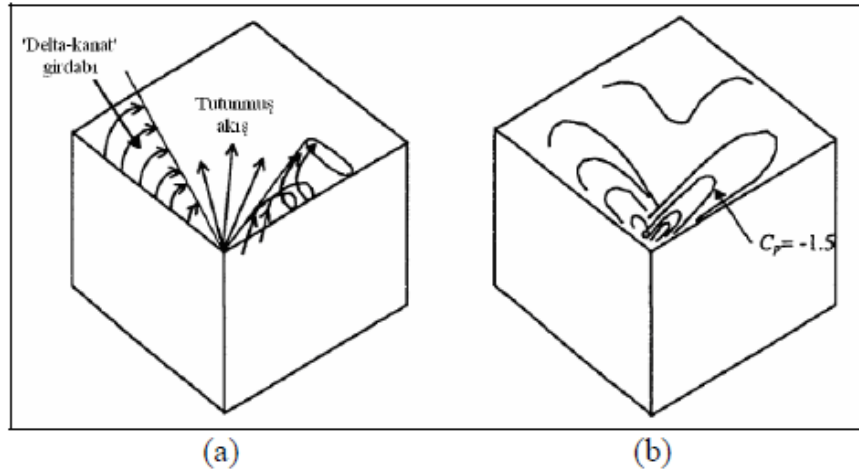
Akış hızı ve geometriye bağlı olarak oluşan ve ikincil çevrim bölgeleri olarak adlandırılan ayrılmış akış bölgeleri Şekil 2.18’de kesik çizgilerle gösterilmiştir.

2.3.8 Konik Girdaplar

Rüzgâr çoğu kez bina duvarlarına açılı bir şekilde gelmektedir. Bina kenarları boyunca ayrılan akış, Şekil 2.19a’da görüldüğü gibi, akış boyunca konik bir girdap çifti oluşturacak şekilde hızlanan bir sirkülasyona girmektedir. Bu girdaplar akış boyunca belirli noktalarda bozulurlar. Alçak bir binanın rüzgâr tarafındaki çatı köşesinde oluşan konik girdaplar, ortalama bir geliş açısında, bir delta-kanat üzerindeki girdaba oldukça benzemektedirler. Her bir girdabın merkezi, yüksek negatif basınç bölgesidir. Girdaplar düz çatının alt köşesi üzerinde, Şekil 2.19b’de

görüldüğü gibi, iki negatif basınç alanı meydana getirirler. Gelen rüzgârın türbülansı ile doğrudan ilgili olan bu girdaplar, çatılar üzerinde büyük kaldırma etkisine sebep olmaktadır. Konik girdaplar üç boyutlu olup büyük ölçüde kararlı yapıya sahiptirler ve içindeki akışkan parçacıkları helisel bir yörüngede hareket ederler.

Rüzgâr tarafındaki çatı köşelerinde oluşan yüksek çekme kuvvetinin (emme) büyüklüğü veya eşdeğer anlamda girdabın şiddeti, rüzgâr açısıyla büyük ölçüde değişmektedir. Buna karşın, çekme kuvveti (emme) etkisindeki bölgelerin yeri rüzgâr açısıyla çok fazla değişmemektedir. Yüksek çekme kuvveti etkisinin çatı köşelerine doğru artmaya devam edip etmeyeceği ile ilgili somut bilgi, gerçek yapılar üzerinde yapılabilecek ölçümlerle elde edilebilir.



Şekil 2.19 Bina köşesinde oluşan konik girdap akışı (Cook, 1985)

2.3.9 Mühendislik Yaklaşımı ve Binaların Performansı

Yapılar genellikle bulundukları çevre şartlarından etkilenmektedir. Uygulanan tasarımın rüzgâr yükleri karşısında başarılı ya da başarısız olduğunun tek gerçek göstergesi, kuvvetli rüzgarlar karşısında binanın gösterdiği performanstır. Genellikle bir bina üzerindeki rüzgâr yükü etkileri bir kaç faktörle yönetilmektedir. Bunlar, rüzgâr karakteristikleri, arazi ve topoloji özellikleri, bina geometrisi ve rüzgâr geliş açısıdır.

Binanın dış cephesinde bulunabilecek farklı bölümler, değişken rüzgâr yüklerine maruz kalabilmekte ve komşu binaların varlığı da rüzgâr yüklerini değiştirebilmektedirler. Bu nedenle, binaların yanı sıra şehir planlama çalışmalarında

da rüzgâr etkilerinin dikkate alınması büyük önem taşımaktadır. Fırtınalara maruz kalan yapıların performansı, tasarımında ve yapım aşamalarında ortaya koyulan mühendislik yaklaşımları ile yakından ilgilidir. Binalar, mühendislik yaklaşımlarına göre dört kategoride sınıflandırmaktadır. Bunlar tam mühendislik, ön mühendislik, marjinal mühendislik ve mühendislik dışı yaklaşımlar şeklindedir.(Minör, 1979)

Tam mühendislik yaklaşımının uygulandığı binalar, genellikle kaliteyi garanti etmekte ve şiddetli rüzgârlarda iyi performans göstermektedirler. Ön mühendislik yaklaşımı ile yapılan yapılar genellikle tip projeler şeklinde planlanmaktadır. Bu binalar optimum ekonomiyi sağlayacak şekilde tüm bileşenler için eşit yükleme durumuna göre tasarlandığından, kuvvetli rüzgarlar karşısında yeterli performans gösterememekte ve nispeten düşük rüzgar hızlarında da hasara uğrayabilmektedirler.

Hasar araştırmalarında, en büyük hasarların marjinal mühendislik yaklaşımı ile inşa edilen binalarda olduğu ifade edilmektedir. Bu grubu oluşturan ticari ve endüstriyel binalar, bazı apartmanlar, çelik kafesli yapılar, ahşap ve betonarme binaların kuvvetli rüzgârlara karşı dayanımları yetersiz kalmaktadır. Tek veya çok katlı konut ve ticari amaçlı binaların çoğunda, mühendislik yaklaşımı neredeyse hiç dikkate alınmamaktadır. Çoğunlukla ahşap yapıların çatılarının kritik bölümlerinin rüzgâra karşı çok az direnç göstermesi, yapı bütünlüğünün bozulmasına sebep olmaktadır.

Uzun yıllardan beri rüzgâr kaynaklı bina hasarları üzerine yapılan gözlemler ve elde edilen verilerin değerlendirilmesi ile aşağıdaki sonuçlara varılmıştır (Minor, 1979).

- Yapılar esas olarak kritik bina bileşenleri üzerinde etkili olan rüzgâr kaynaklı kuvvetler nedeniyle hasara uğramaktadır.
- Mühendislik açısından uygun olmayan binalar düşük rüzgâr hızlarında da hasara uğrayabilmektedir.
- Küçük bir mühendislik yaklaşımı bile, yapıların performansında olumlu yönde büyük farklar oluşturmaktadır.
- Bina geometrisi ve binanın baskın rüzgâr yönüne göre konumu, rüzgar direnci açısından önemli faktörlerdir.
- Taşınabilir evler, kafes çatılı evler, güçlendirilmiş taş evler gibi yapı tiplerinin rüzgâr dirençleri zayıftır.

Aşağıdaki nedenlerden bir veya daha fazlası, rüzgâr kaynaklı bina hasarlarına yol açabilmektedir (Metha, 1984).

- Bina tasarımında dikkate alınandan daha yüksek rüzgâr hızları, kullanılan emniyet faktörlerini aşan yükler oluşturabilir.
- Tasarım ve yapımdaki yetersizlik, binada zayıf bağlantılar oluşturmaktadır.
- Standart ve kodlardaki eksiklikler yetersiz bina tasarımlarının yapılmasına neden olmaktadır.
- Rüzgâr yükü etkilerini anlama ve değerlendirmedeki eksiklik, uygun olmayan yapıların inşasına sebep olmaktadır.

2.3.10 Bina Kodları

Rüzgâr kaynaklı hasarlara karşı uygun ve etkili bir yapısal tasarımın, rüzgâr yüklerinin doğru tanımlanmasına dayanacağı açıktır. Rüzgâr etkilerini tahmin etmede tasarımcıya yol gösteren standartlar ve kodlar, basınç veya kuvvetlerle ilişkili rüzgâr yüklerini açıklarlar.

Binalar üzerindeki rüzgâr etkilerine yönelik bilgilerin artması ve teknolojik gelişmelerin mühendislik uygulamalarında kullanılması ile yapıların rüzgâra karşı gösterdikleri direnç iyileşmekte ve böylece kuvvetli rüzgârların oluşturabileceği hasarlar azalmaktadır.

Genelde, binalar ve diğer yapılar üzerindeki rüzgâr yükü etkilerini belirlemek için iki yaklaşım kabul edilmektedir. Bunlardan biri, alçak ve orta yükseklikli binalar ile kaplamalı tasarımı kapsayan ve rüzgâr yükü uygulamalarının çoğunda kullanımı uygun olan yapıların oldukça rijit olduğu ve eşdeğer statik yüklerle değerlendirilebileceği şeklindeki yaklaşımdır. Diğer yaklaşım, rüzgâr kaynaklı titreşimlerden etkilenebilecek binalar ve yapılar durumunda uygulanmaktadır. Bu tip yapılar için, rüzgâr yüklerini belirlemede özel rüzgâr tüneli deneyleri ve diğer deneysel yöntemler kullanılmaktadır. Standartlar ve kodlarda çoğunlukla, binaların farklı yapısal elemanları için boyutsuz basınç katsayıları ve değişik yapılar için kuvvet katsayıları da yer almaktadır. Bu katsayılar bölge özelindeki rüzgâr verileri ve tasarım rüzgar yüklerini belirlemek için arazi karakteristikleri ile birlikte kullanılırlar. Çoğu durumda, katsayılar atmosferik sınır tabakanın benzeşimi yapılan rüzgâr tüneli deneylerinden elde edilirler.

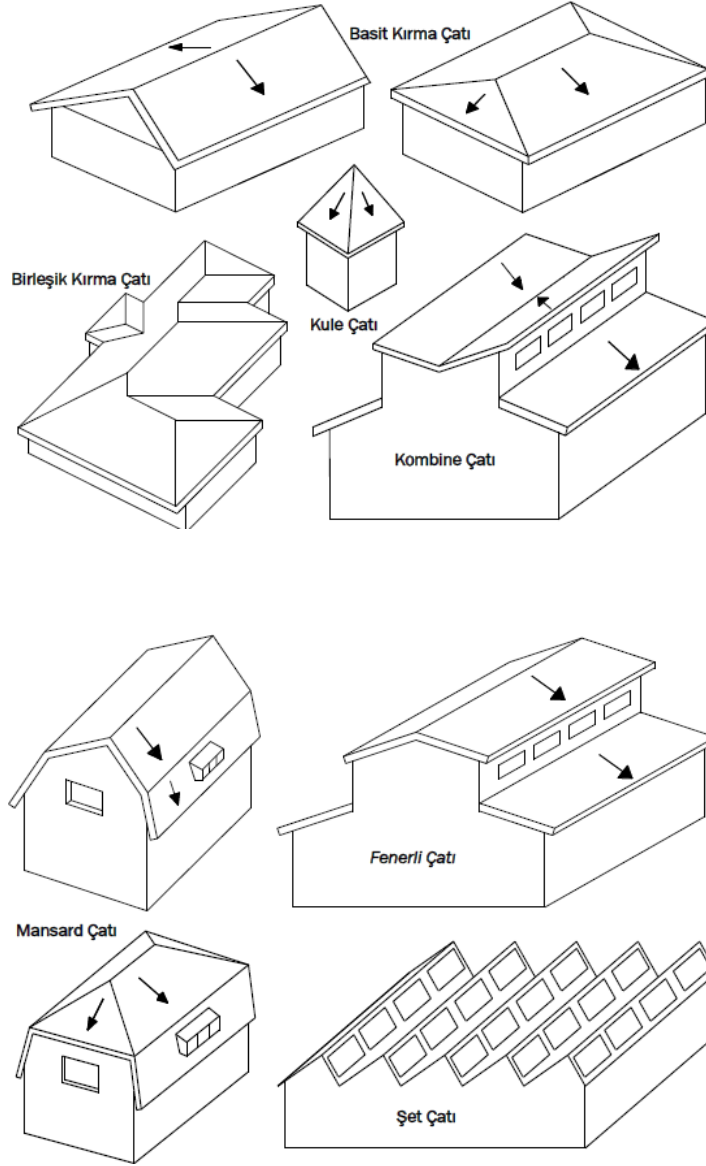
Mühendislik kurallarına uygun ve oldukça emniyetli yapılan yüksek binalarda, kuvvetli fırtınalara karşı başarılar sağlanmıştır. Ancak, alçak binalar için hala geliştirilmesi gereken durumlar bulunmaktadır. Yapısal yıkıma neden olabilecek bina bileşeni hasarlarının meydana geldiği alçak binalarda, kısa periyotlu pik basınçlar oldukça önemlidir. Çatıların kenar ve köşeleri pik basınçlardan çok fazla etkilenirler. Bu bölgelerdeki basınçları azaltmada, uygun tasarım ve geliştirmelerin yapılabilmesi için basınç mekanizmasının anlaşılması önemlidir. Binalar ve diğer yapılar üzerinde rüzgâr kaynaklı kuvvetleri anlama konusundaki eksikliklerin giderilmesi ve iklimsel sınır değerlerdeki değişimlere göre kodların tasarım ve inşaa uygulamaları için etkin bir şekilde güçlendirilmesi, hasarların azalmasını ve ekonomik kayıpların en aza indirilmesini sağlayacaktır (Özmen, 2006)

2.3.11 Geleneksel Çatı Tipleri

Çatı, bir yapının son katta bitişini sağlayan ve şekillendiren yapı elemanıdır. Yapının üst kısmından atmosfer etkilerine karşı korunması amacıyla yapılan çatılar, dış şekillerine, eğimlerine, konstrüksiyonlarına, örtü malzemesine, çatı malzemesine ve ısı yalıtımının uygulama şekillerine göre sınıflandırılabilirler. Çatı üst yüzeyinin bir yatay düzlemle kesişmesi ile ortaya çıkan açı, çatı eğimi olarak tanımlanmaktadır. Eğim, üzerinde yürünen çatılarda % 1,5'i aşmamalıdır. Mimari tercihe göre tasarlanan, üzerinde yürünmeyen az eğimli çatılarda ise, en çok %5 olarak alınmalıdır. Ancak, kar yağışının yoğun ve uzun süreli olduğu bölgelerde, kar yükünün fazla olması nedeniyle düşük eğimler tercih edilmemektedir (Sümerkan, 2005)

Az eğimli çatıların üzeri, yürüme, oturma gibi eylemlere uygun biçimde tasarlanabilmektedir. Bu amaçla yapılan düz çatılarda, koruma tabakası aşınmaya ve darbelere dayanıklı olmalıdır.

Eğimli çatılar, ahşaptan, çelikten ve eğimli dökülebilen betonarmeden yapılabilir. Üzerine gelen yükleri ve kendi ağırlığını ana taşıyıcı bölümüne aktaran çatıların konstrüksiyonunda genellikle ahşap kullanılmaktadır. Çelik çatılar ise, atölye, fabrika, depo, toplantı salonları gibi, büyük açıklık gerektiren yapılarda tercih edilmektedir. Üzerine ayrıca bir taşıyıcı çatı konstrüksiyonu gerektirmeyen, betonarme sistemin eğimli olarak yapılması ile eğimli betonarme çatılar elde edilmektedir (Sümerkan, 2005). Şekil 2.20'de değişik çatı tipleri görülmektedir.



Şekil 2.20 Çatı tipleri

Korkuluklar aşırı kaldırma etkisi yaparak akışın çatı yüzeyine tekrar tutunmasını önlerler. Sundurmalı çatılarda, sundurmanın alt yüzeyindeki bası etkisi ve sundurmanın üst yüzeyindeki emme etkisi sundurmanın yukarıya doğru kalkmasına neden olacaktır. Rüzgâr ile çatı arasındaki etkileşimin özellikle çatı kenarlarındaki etkisini azaltmak amacı ile çatı saçaklarına değişik şekiller verilmektedir. Bu sayede, saçığın alt ve üstünde oluşacak olan zıt gradyanlı basınç dağılımlarının birlikte oluşturacağı etkinin azalacağı düşünülebilir. Çatı hasarları, çoğunlukla çatı köşeleri, çatı sırtı ve çatı saçaklarında meydana gelmektedir. En büyük çatı hasarı, beşik tipi çatı sistemlerinde çatı sırtında ve beşik uçlarında, düz çatı sistemlerinde ise çatı köşelerinde meydana gelmektedir. Akış ayrılması sonucu kuvvetli girdapların

meydana geldiği çatı kritik bölümlerinde pik basınçların oluşum mekanizması tam olarak anlaşılmamıştır.

Rüzgârın bina çatıları üzerinde, çatı eğimine ve tipine göre farklı etkiler gösterdiğinin bilinmesi, değişik çatı geometrileri üzerindeki basınç alanlarının incelenmesine yönelik çok sayıda çalışmanın yapılmasına yol açmaktadır.

3. METARYAL ve YÖNTEM

3.1 Parçacık Görüntülemeli Hız Ölçümü (PIV)

Daimi olmayan akışkanlar mekaniği uygulamalarında akışı görselleştirme yoluyla belirli bir akış alanı içerisinde anlık ölçüm yaparak akış yapısını ve fiziğini anlamak büyük önem arz etmektedir. Bir akışkanın hareket etmesi için basınç farklılığı, yerçekimi, atalet ve yüzey kuvvetleri gibi birtakım etkilerin olması gerekir. Hareket eden akışın hızı, ivmesi ve akışkanın sıcaklığı, viskozitesi ve yoğunluğu gibi bazı özelliklerinde değişimler meydana gelir. Akış ve akışkandaki bu değişimlerden faydalanarak doğada, endüstride ya da insan vücudunda herhangi bir akışı anlayabilmek, çözümleyebilmek için çalışmalar yapılmaktadır. [Kaykısızlı, 2006] Akışkanın üzerine etkiyen kuvvetler Navier-Stokes adı ile bilinen denklem ile ifade edilir ve bu denklemin genel bir analitik çözümünün bulunmayışı dolayısıyla sayısal çözümler veya akışı görüntülemek gibi alternatif yollar özellikle tıp, savunma sanayi ve birçok mühendislik alanında son yıllarda giderek önem kazanmıştır.

Akımın yapısını belirlemek için yapılan deneylerde, kızgın tel, kızgın film ve lazer doppler anemometreleri anlık hızların ölçülmesi için yaygın olarak kullanılan cihazlardır. Bu cihazların ortak özelliği aynı anda sadece tek bir noktada ölçüm yapabilmeleridir. Deney alanında farklı zamanlarda tek bir noktada yapılan ölçümlerle akım alanının özelliklerinin belirlenmesi ise özellikle ayrılmış akım bölgeleri ve karmaşık yapıya sahip akımların yapısını tanımlamada yetersiz kalabilmektedir. Akışkanlar mekaniği uygulamalarında, bir noktanın ölçümü için Pitot tüp, sıcak tel anemometresi gibi geleneksel yöntemlerin aksine Parçacık Görüntülemeli hız ölçüm tekniği kullanımı; akış alanı içerisindeki girdapların ölçümlerini mikro saniye mertebesinde kısa zamanda ölçülendirebilir. PIV yöntemi, akımı rahatsız etmeden hassas bir şekilde, aynı anda düzlemsel bir bölgedeki anlık hızları ölçerek akım karakteristiklerini belirlemektedir. Bu yöntem ile akım hızında hareket eden, mikron boyutundaki, küçük, metal kaplı, katı parçacıkların hızları aynı anda ölçülmektedir. Aynı zamanda kısa zaman içerisinde ölçüm yapma kabiliyeti sayesinde tüm ölçüm maliyetinde önemli düzeyde azalma oluşturur. Sistem; kararsız yüksek hızlı akışlarda ve konu ile ilgili uygulamalarda hassasiyet parametreleri kabul edilebilir doğruluğa en yakın düzeyde olduğu için nümerik çalışmalara da referans olabilecektir. Akışı görselleştirme sadece fiziksel deneylerde değil aynı zamanda,

hesaplamalı akışkanlar mekaniği gibi sayısal çözümlerde de faydalıdır. Sayısal çözümler sonucu elde edilen nicel veriler kullanılarak ve akış görselleştirilerek akış olayının bütünü göz önüne alınması mümkün olmaktadır (Çengel, 2003). PIV sisteminin basit halinin ilk kullanımı ve ilk çalışmaları Meyrand (1983) tarafından partikülün akış görselleştirmesini yapmaya çalışmasıyla başlamıştır. PIV tekniğinin teorisi Adrian (1988) tarafından ortaya konulmuş ve ilk deneyler 1990 yılında yapılmaya başlamıştır. Bu gelişmeyle birlikte yazılım limitlerinin sınırlı olması nedeniyle tekli fotoğraf kareleri oto korelasyon tekniği kullanılarak analiz edilmiştir. Bununla birlikte resim kaydedilme işleminin hızlanması ile birlikte ayrılmış görüntüler çapraz korelasyonla işlenmeye 1992 tarihinde başlanmıştır. Dijital kamera sistemlerinin PIV sistemine entegrasi Willert ve Gharib (1991) tarihinde başlanmış ve DPIV sistemi ortaya çıkmıştır. 1997 yılından itibaren ise yazılım ve donanım güncellemesi ve gelişimiyle şimdi kullanılan PIV sistemleri teknolojileri hızla gelişmekte ve akış yapısının karakteristiği ile ilgili konuları daha net ve hassas biçimde aydınlatmaktadır.

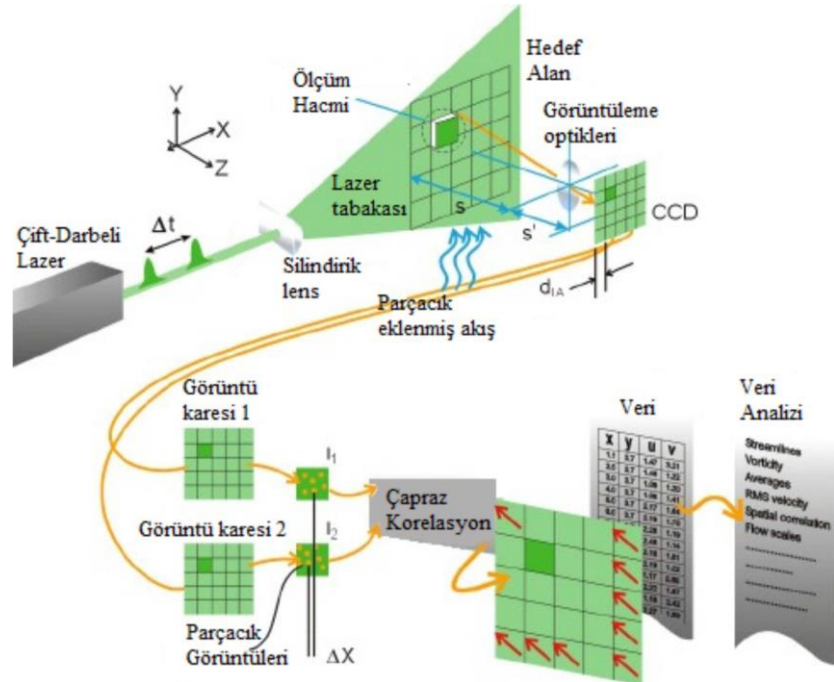
PIV sistemi çok değişik mühendislik ve akışkanlar mekaniği uygulamalarında kullanılmaktadır. Özellikle karmaşık akış yapılarında oluşan girdap formasyonlarının tayininde çok önem arz eden belli başlı uygulama alanlarında yoğunlukla PIV yönteminden yararlanılmaktadır. Kompresörlerde, türbinlerde, pompalarda, otomotiv teknolojisinde, ısı değiştiricilerinde, uçak gövdesinin muhtelif bölgelerinde girdap oluşmakta ve oluşan bu girdaplar sistemin performansını etkilemektedir. Örneğin, kompresörlerin kanatlarının arasında oluşan girdap, kanadın değişik noktalarına eşit olmayan kuvvetler uygulayarak sistemin performansını düşürmekte ve sistemde titreşim ve gürültü oluşturarak arızalara neden olmaktadır. Benzer şekilde, uçakların gövdelerinin muhtelif bölgelerinde oluşan girdap, uçakların manevra gücünü azaltmakta ve girdapların oluşturduğu yüklerle malzeme yorulması ve nihayetinde malzemelerde çatlaklara neden olmaktadır. Pilotsuz uçak kullanımı söz konusu olduğunda günümüzde bu tür uçakların manevra kabiliyetini arttırabilmek için uçak gövdesinin oluşturduğu spiral girdapların ve girdap çökmelerinin kontrolü gerekmektedir. Bu tür girdapların çökmelerinin fiziğini ve anlık davranışlarını en iyi şekilde PIV ölçme tekniği ile anlamak mümkündür.

İçten yanmalı motorlarda yanmanın daha sağlıklı gerçekleşmesi ve verimin arttırılması için yoğun araştırmalar yapılmaktadır. Bu tür sistemlerin verimini

arttırabilmek için çeşitli geometrik tasarımlara sahip yanma odalarında oluşan girdaplı akışın yapısı, PIV ölçme yöntemiyle belirlenen yanma verimini arttıracak en uygun geometrilerin veya parametrelerin araştırılmasıyla gelişebilmektedir.

3.1.1 PIV Ölçüm Tekniğinin Çalışma Prensipleri

Genel olarak PIV tekniği ile hız ölçümü, görselleştirme ve görüntü işleme olmak üzere iki adımdan oluşmaktadır. Akış alanına, akışı takip eden küçük parçacıklar eklenmektedir. Bu parçacıklar ölçülmek istenen yüzeyde bir ışık kaynağı tarafından kısa bir zaman aralığı içinde art arda iki kez aydınlatılmaktadır. Işık kaynağının (çoğunlukla lazer) art arda aydınlatma arasındaki zaman farkı Δt , ortalama akış hızına ve görüntülemenin büyütme ölçeğine bağlı olarak ayarlanmaktadır. İki aydınlatma arasında geçen sürede parçacıklar yerel akış hızı ile hareket etmektedirler. Parçacıklar tarafından saçılan ışık, ışık tabakasına dik olarak yerleştirilmiş yüksek çözünürlüklü bir kamera tarafından algılanmakta ve iki kare üzerine kaydedilmektedir. Elde edilen fotografik PIV kayıtları daha sonra bir tarayıcı yardımıyla dijital hale getirilerek bilgisayara transfer edilmektedir.

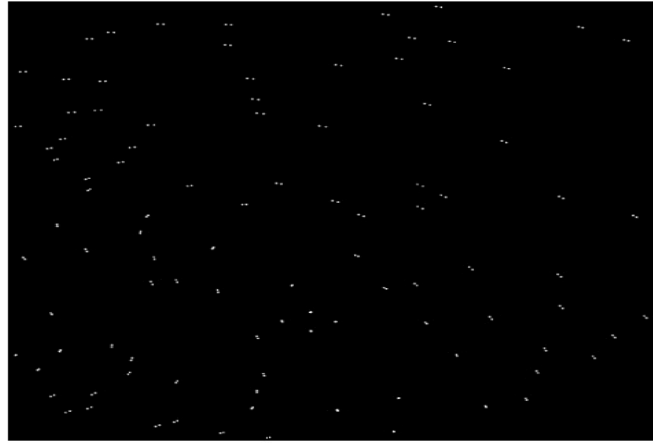


Şekil 3.1 PIV analiz işlemleri(Temel 2013)

Hız bileşenlerinin hesaplanabilmesi için PIV kayıtları, sorgulama alanı adı verilen küçük alt alanlara ayrılmaktadır. Her bir sorgulama alanı için birinci ve ikinci aydınlatma resimleri çapraz korelasyon yöntemiyle karşılaştırılarak yerel yer değiştirme vektörleri belirlenmektedir. Ölçülmek istenen yüzeydeki yerel hız vektörünün bileşenleri, yerel yer

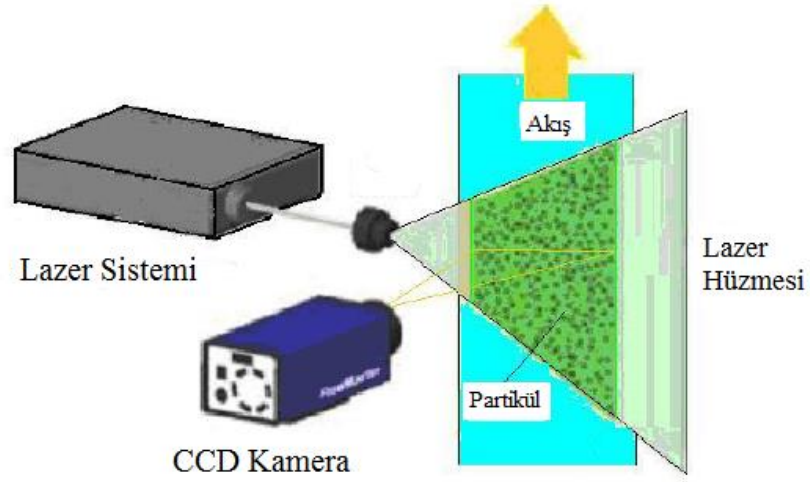
değiştirme vektörleri, iki aydınlatma arasında geçen süre ve görüntülemenin büyütme ölçeği göz önüne alınarak hesaplanmaktadır (Şekil 3.1).

Bu yöntemin prensibi, akış içerisinde akışkanla aynı hızda hareket eden mikron düzeyinde küçük metal kaplı katı parçacıkların hızlarını ölçmek suretiyle akış yapısı hakkında anlık veya ortalama bilgi vermektir. Bu teknik ile iki ve üç boyutlu hız ölçümü yapabilmek için akış (su) içerisine 10–20 mikrometre çapında, yoğunluğu suyun yoğunluğuna yakın parlak gümüş kaplı metal veya plastik parçacıklar serpiştirilmektedir (Şekil 3.2).



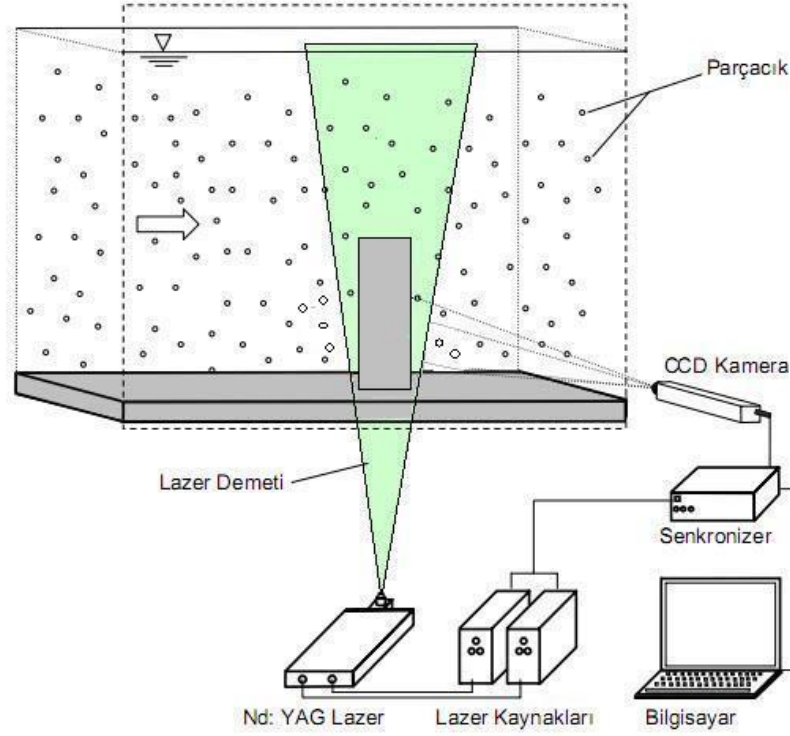
Şekil 3.2 Kanal İçerisine Eklenen Parçacıklar

Parçacıkların yoğunlukları suyun yoğunluğundan nispeten büyük olmasına rağmen (1100 kg/m³ aralığında değişen) boyutları mikron mertebesinde olduğu için su ile aynı hızda hareket etmektedirler. Çift darbeli 120 mJ güçteki lazer ünitesi (Nd: YAG Lazer) tarafından üretilen lazer ışını optik aletler desteğiyle 1–2 mm kalınlığında ve değişik genişliklerdeki lazer huzmesi haline getirilmektedir. Lazer huzmeleri ile aydınlatılan akış alanının içinde hareket eden parçacıkların milisaniye boyutundaki (Δt) zaman aralıkları ile Charge- Coupled Device (CCD) dijital kamera vasıtasıyla çekilen iki adet fotoğrafı bilgisayar ortamına aktarılmaktadır. İki partikül arasındaki yer değişimi ve iki fotoğraf arasındaki zaman aralığı (Δt) bilindiğinden; vektör hızlarının haritası hesaplanabilmektedir. Bu vektör hızlarından yola çıkılarak akım çizgileri, eş girdap eğrileri ve reynolds stress değerleri bulunabilecektir.



Şekil 3.3 PIV deney seti (Karakuş, 2007)

Lazer kaynağı darbeli tip olduğu için lazer ile kameranın eş zamanlı olarak çalışması gerekmektedir. Lazer kaynağı ile dijital kamera arasındaki zamanlamayı ayarlayan cihaz eş zamanlayıcı (senkronizer) olarak adlandırılmakta ve bir bilgisayar tarafından kontrol edilmektedir. Bilgisayara aktarılan bu fotoğraflar genellikle 32x32 piksel ebatlarındaki (gerektiğinde bu ebatlar arttırılabilir veya azaltılabilir) küçük alt bölgelere bölünmekte ve Hızlı Fourier dönüşümü kullanılarak her bir alt bölgedeki parçacıkların çekilen iki görüntü arasındaki yer değiştirmeleri bulunmaktadır. Şekil 3.3 ile sistem işleyişi daha net açıklanmıştır. Ayrıca sistem donanımlarının kullanım yerleri Şekil 3.4’de görselleştirilmiştir.

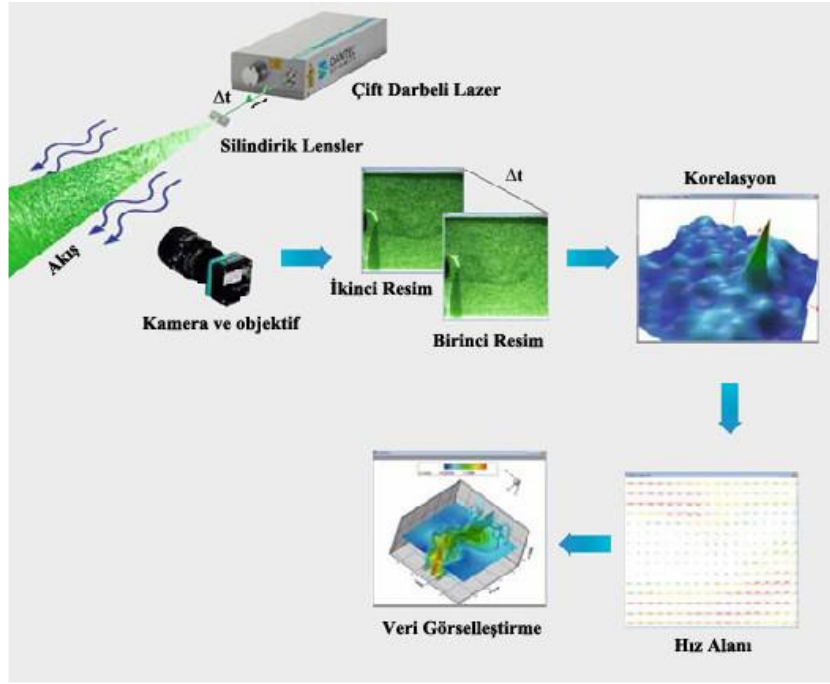


Şekil 3.4 PIV sistemi elemanları şematik görünüşü

Daha önce de açıklandığı gibi PIV' nin çalışma prensibini test alanı içerisinde aydınlatılan parçacıkların yer değiştirmesinin tespiti olarak özetlemek mümkündür. Bu yer değiştirmenin belirlenmesinde en çok kullanılan yöntemler parçacık izleme ve korelasyondur. Bu çalışmada, parçacıkların yer değiştirmesinin hesabı 64x64 sorgulama ekranı ile adaptive-korelasyon tekniği kullanılarak yapılmıştır.

Kameradan aktarılan anlık resimler bilgisayar içerisindeki bir resim karesi yakalayıcı ile okunmuş ve TXT dosyası formatında hafızaya kaydedilmiştir. Bu dijital resimlerin prosesi ve analizi DANTEC DYNAMICS sistemi ve içerisinde yer alan FLOW MANAGER v4.71 yazılımı ile gerçekleştirilmiştir. Her bir bölgede toplam 500 anlık görüntü kaydedilmiştir. Elde edilen TXT uzantılı dosyalar proses edilip, CLEANVEC programıyla da (Türbülanslı ve karmaşık akış laboratuvarı İllinois Üniversitesi tabanlı) istatistiksel Fourier filtresiyle proses edilen ham vektörler içerisinden kötü ve bozuk diye tabir edilen vektörleri temizler. Daha sonra temizlenen vektörler yerine istatistikî olarak yeni vektörler alınarak akış yapısının anlık hız alanları bulunmaktadır. Şekil 3.5'de 500 adet anlık alınan resimlerin ortalamaları alınarak akış yapısının zaman-ortalama hız vektörleri $\langle V \rangle$, akım çizgileri $\langle \Psi \rangle$ ve girdap eşdeğer eğrileri $\langle \omega \rangle$ elde edilmektedir. Akışkanlar mekaniğini uygulamalarında görselleştirme çalışmaları için üç ayrı görsellik teması

üzerinde durulmuştur. Bunlar hız alan vektörleri $\langle V \rangle$, akım çizgileri $\langle \Psi \rangle$ ve girdap konturları $\langle \omega \rangle$ olarak adlandırılmaktadır. Akış yapısının PIV tekniğinde daha net anlaşılabilmesi için kullanılan bu görsel akış parametreleri, Hız vektörleri $\langle V \rangle$ çizimi; belirli bir anda vektörel özelliğin yönünü ve şiddetini gösteren oklar dizisidir yani akışın yönünü ve şiddetini gösteren vektörler deseni toplamıdır.



Şekil 3.5 Parçacık görüntülemeli hız ölçme tekniğinin çalışma prensibi
(<http://www.ex-en.com.tr/piv>)

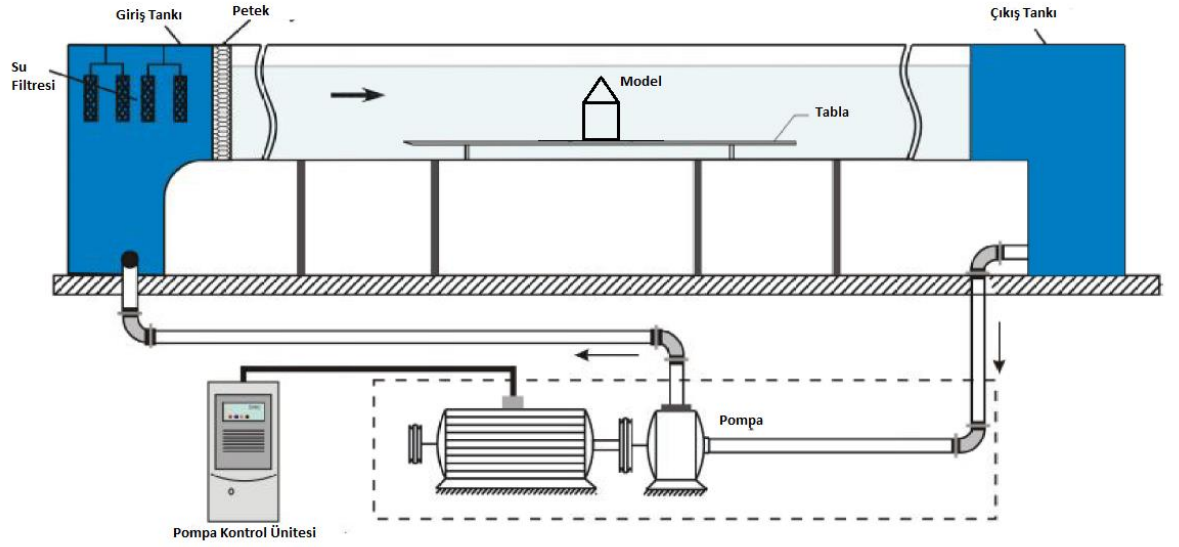
3.1.2 Deney Düzeneği ve Ölçüm Sistemi

Bu çalışmada yapılan deneyler; Çukurova Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü Akışkanlar Mekaniği Laboratuvarlarında bulunan kapalı çevrim olarak çalışan serbest yüzeyli açık su kanalında yapılmış olup Parçacık Görüntülemeli Hız Ölçüm Tekniği (PIV) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Şekil 3.6'da deney kanalı görülmektedir. Su kanalı fiberglas malzemeden imal edilmiş iki adet su deposu ve bu depolar arasına monte edilmiş deney çemberi olarak adlandırılan şeffaf akrilik kısımdan oluşmaktadır. Deney kanalı 750 mm yükseklik, 1000 mm en ve 8000 mm boya sahiptir. İki su deposu arasındaki suyun hareketi, 15kW gücünde bir adet santrifüj pompa yardımıyla ile gerçekleştirilmektedir. Farklı hızlarda deney kanalı ve test bölgesinde deneyler yapabilmek için santrifüj pompanın devri frekans kontrollü

bir hız kontrol ünitesi aracılığıyla değiştirilebilmektedir. Santrifüj pompa suyu, çıkıştaki su tankından emerek girişteki su tankına basmaktadır. Deneyler esnasında deney kanalı boyunca akışın üniform olmasını sağlamak amacıyla giriş tankının çıkışına akışı düzenleyici petek sistemi konulmuş olup aynı zamanda giriş rezervuar kısmının çıkışı ile deney kanalı birleşme yeri arası 2:1 oranında daraltılarak bağlantı sağlanmıştır. Deney sisteminde giriş depo olarak kullanılan kısım aynı zamanda suyun dinlenme odası olarak görev yapmakta olup su oradan akış düzenleyici bölüme geçip deney kanalına girmektedir. Ayrıca sistemde, depo doldurulan suyu yabancı partiküllerden ve kirlerden ayırıştıran filtreleme sistemi mevcuttur (Şekil 3.7). Bunlara ek olarak su kanalının ve partikül dolaşım sistemlerinin ısısal olarak etkileşimini en aza indirmek için; laboratuvar 22 °C nominal oda sıcaklığında tutulmaktadır. Ayrıca laboratuvar camları, lazer ışın demetinin güneş ışıklarından korunması için özel perdelerle kapatılmaktadır.

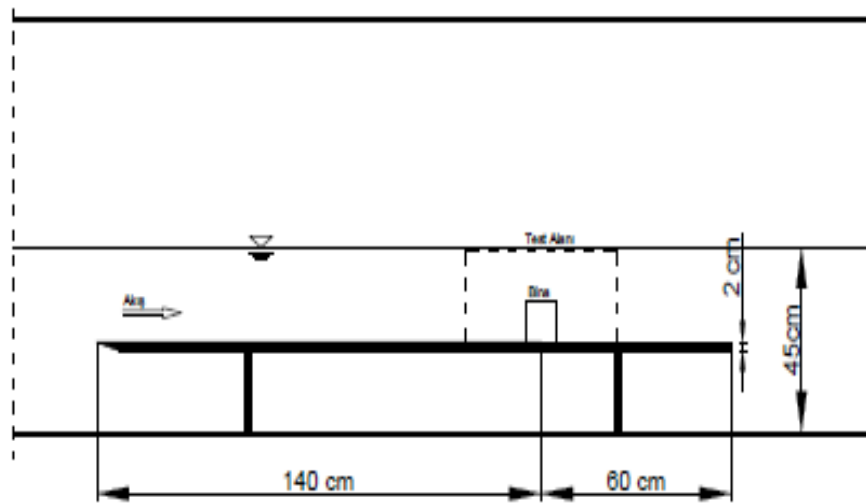


Şekil 3.6 Deney kanalının görünümü



Şekil 3.7 Su kanalının şematik görünümü

Gerçek ve deneysel kanal koşullarındaki hız profilleri ve sınır tabaka etkileri farklıdır. Bu farklılıklar bina etrafındaki akış yapısını da etkilemektedirler. Bu nedenle deneysel çalışmalar, 2000 mm uzunluğunda 90 mm genişliğinde plaka, altı adet destek ayağı üzerine oturacak biçimde kanal tabanından 150 mm yukarıya yerleştirilerek gerçekleştirilmiştir. Şekil 3.8’de deney alanının su kanalı içerisindeki şematik olarak gösterimi verilmiştir. Plaka ön tarafı akış ayrılmasını önlemek amacıyla yuvarlatılmıştır. Türbülans etkilerinden sakınmak için ölçüm yapılacak bina modelleri plaka ön ucundan itibaren 1.4m uzaklığa yerleştirilmiştir. Deneyler boyunca su kanalında su yüksekliği 0.45m olarak sabit alınmıştır.



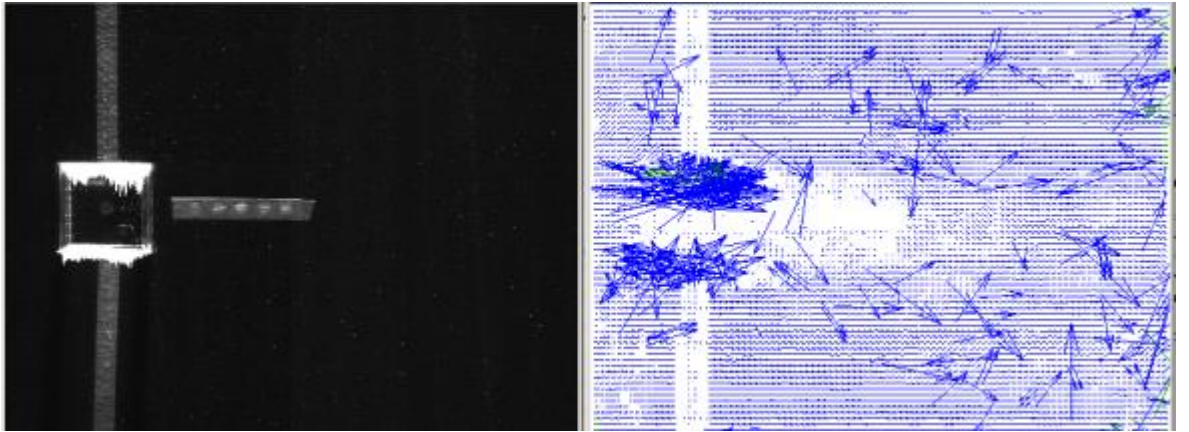
Şekil 3.8 Deney kanalının şematik görünümü

1 noktası

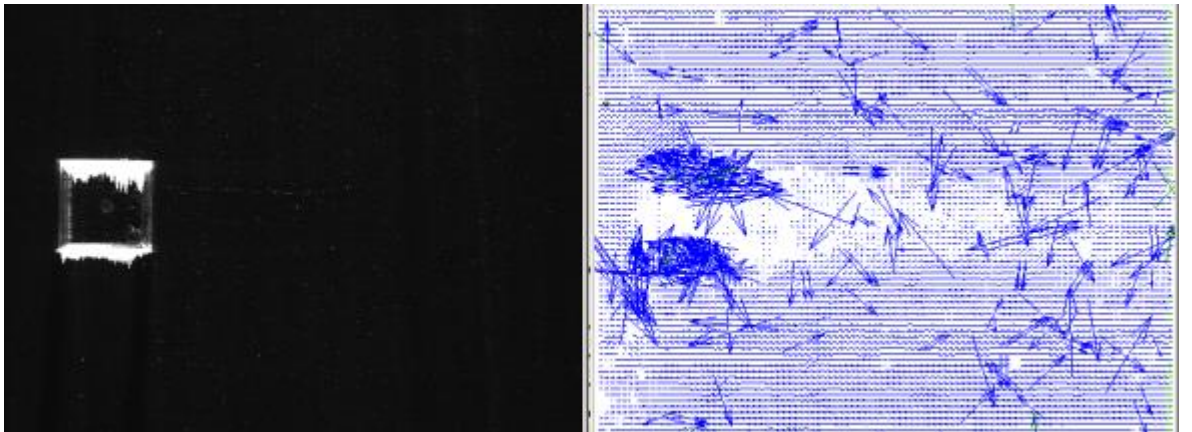
50



Şekil 3.10 Tek bina modelinin plaka üzerinde yerleşimi



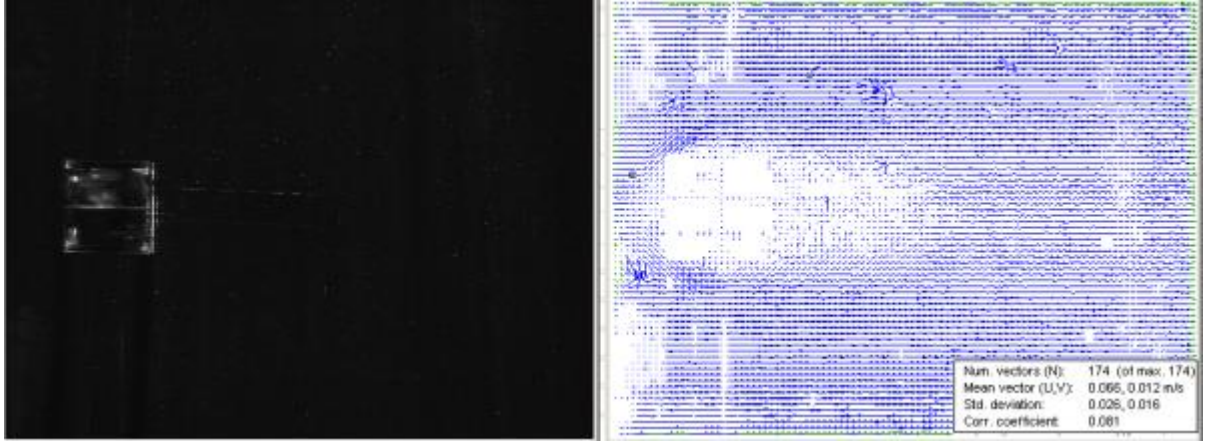
Şekil 3.11 Parlama ve izole bant



Şekil 3.12 Bina boyanmamış ve plaka siyah bantlı

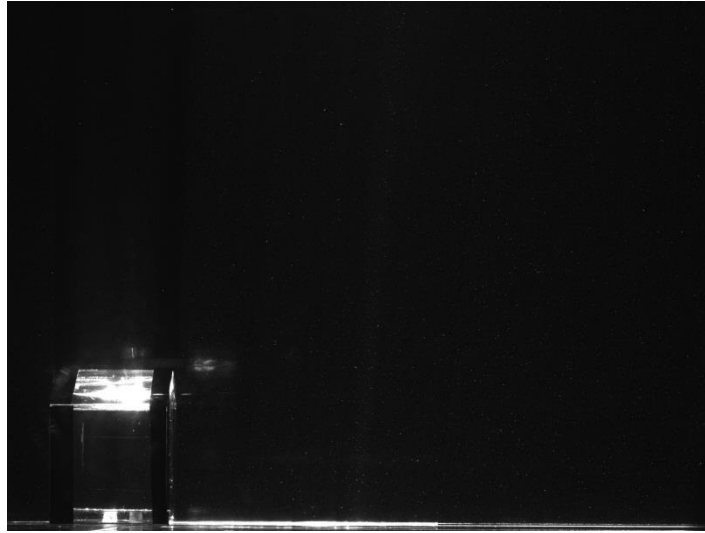
Şekil 3.13’de plaka siyah bantla kaplanarak şekil 3.12’deki bant izlerinin hız vektörleri üzerindeki olumsuz etkileri ortadan kaldırılmıştır. Fakat binanın özellikle

üst kısımlarında meydana gelen yansıma ve parlama problemleri ortaya çıkmaktadır. Bu problem sebebiyle hız vektörleri gösterilirken bina üzerinde bad vektörleri oluşmaktadır. Bu nedenle bina modelleri ölçüm yüzeylerine bağlı olarak siyah boya ile boyanmıştır. Şekil 3.13’de aynı binanın boyanmış hali görülmektedir.

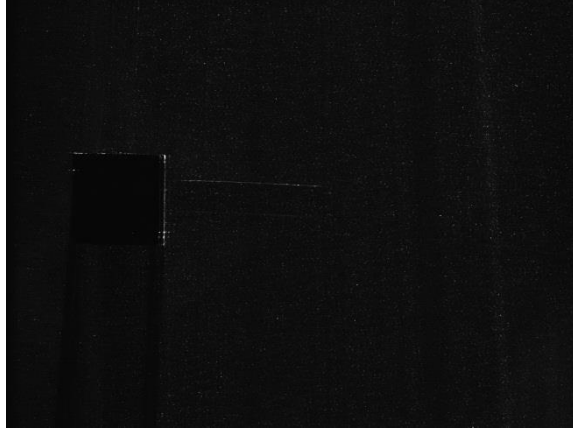


Şekil 3.13 Bina boyalı ve plaka siyah bantlı

Bina modelleri üstten görüşlerine, yandan görüşlerine ve ölçüm yüzeylerine bağlı olarak farklı biçimlerde siyah boya ile boyanmışlardır. Şekil3.14’de binaların boyanma biçimleri gösterilmiştir.



Şekil 3.14 Yandan görüş için $z/h=0,5$ yüzeyi için bina modelinin boyanmış hali



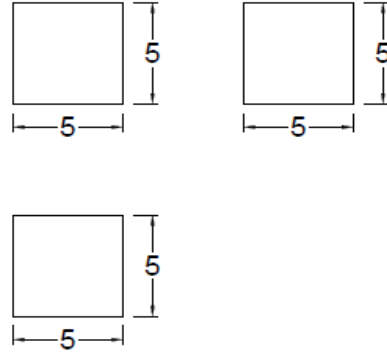
Şekil 3.15 Üstten görünüş için $z/h=0,5$ yüzeyi için bina modelinin boyanmış hali



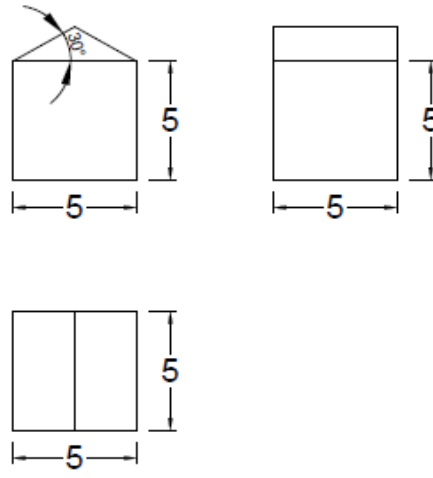
Şekil 3.16 Üstten görünüş için $z/h=0,5$ yüzeyi için bina modelinin boyanmış hali

3.1.3 Bina Modelleri

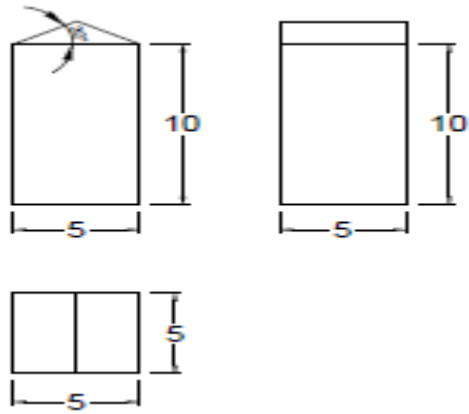
Deneylerde akış yapısını incelemek amacıyla şeffaf akrilik malzemeden imal edilen farklı bina modelleri kullanılmıştır. Bu çalışma için dört farklı bina modeli kullanılmıştır. Bunlar; çatısı olmayan kare bina model, 30° 'ye sahip çatılı kısa bina, 30° 'ye sahip çatılı uzun bina ve 30° 'ye sahip çatılı geniş binalardır. Tek bina modellerinde bu dört bina modeli ayrı ayrı incelenmiştir. Kullanılan bu modellere ait 3 yönden görünüşleri Şekil 3.17-18-19-20'da verilmiştir. Altıncı ve yedinci bölümlerde de bu dört binanın ikili ve üçlü olarak belirli mesafelerde yerleştirilmesi ile oluşturulmuş bina konfigürasyonları deneysel ve sayısal olarak incelenmiştir.



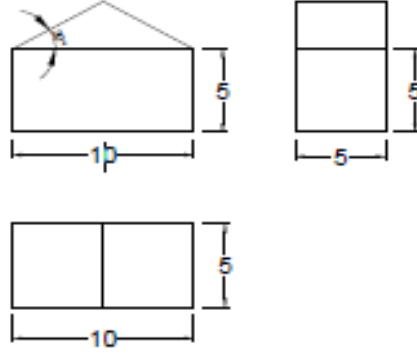
Şekil 17 Çatısız Kare Model (A)



Şekil 3.18 Çatılı Kısa Model(B)



Şekil 3.19 Çatılı Uzun Model(C)



Şekil 3.20 Çatılı Geniş Model (D)

Bina modelleri belirlenirken planlı alanlar tip imar yönetmenliği 14.maddesi 34. ve 35. bendinde yer alan maddelerine göre düzenlenmiştir. Binaların bir kat mesafesi 300cm olarak alınmış olup çatısı olmayan, çatısı olan kısa bina ve çatısı olan geniş bina için dört katlı bina için gerçek bina modeline göre 240 ölçeğine göre yükseklikler 5cm olarak alınmıştır. Çatısı olan yüksek bina için sekiz katlı bina için gerçek bina modeline göre 240 ölçeğine göre yüksekliği 10cm olarak alınmıştır. Yine yukarıda bahsedilen yönetmenlik maddelerine göre üçlü ve ikili bina yerleşimleri için binalar arası mesafe belirlenerek ölçeklendirme yapılmıştır. Yönetmenliğe göre iki bina arası gerçek binalar için dört kata kadar 300cm dört katın üstündeki her kat mesafesi için 50cm arttırılmıştır.

3.2 Sayısal Yöntem ve Temel Denklemler

3.2.1 Kullanılan Sayısal Yöntem

Son yıllarda teknolojinin hızla gelişimi ile birlikte artık problemlerin çözümü, tasarımların oluşturulması ve geliştirilmesi gibi birçok mühendislik uygulamasında sayısal analiz yöntemlerinin kullanımı yaygınlaşmıştır. Deneysel yöntemlerin ekonomik olmaması ve zorlukları mühendislerin sayısal analiz yöntemlerine yönelmelerine neden olmuştur. Aynı zamanda sayısal analiz yöntemlerinin deneysel yöntemlere göre; kısa zamanda ve ekonomik sonuç alınabilmesi, geniş çapta veri elde etme olanağı ve deneysel çalışmalarda karşılaşılabilecek zor ve tehlikeli durumlarda kullanılabilmesi gibi birçok avantajı bulunmaktadır.

Son yıllarda akışkanlar mekaniği ve ısı transferi problemleri çözümü için geliştirilmiş birçok sayısal yöntem bulunmaktadır. Bu çalışmada analizler, sonlu hacimler esasına dayalı çözümleme yapan ANSYS Fluent programı yardımıyla gerçekleştirilmiştir.

3.2.2 Sonlu Hacimler Yöntemi

Sonlu hacimler yöntemi, çözülecek geometriyi parçalara bölerek bu parçaların her biri için çözüm yapma ve daha sonra bu çözümleri birleştirerek problemin genel çözümünü bulma esasına dayanır. Sonlu hacimler yöntemi, korunum denklemlerini sayısal olarak çözümlenebilen cebirsel denklem sistemlerine dönüştürmek için kontrol hacim esaslı bir teknik kullanır. Bu teknik her bir kontrol hacmi için korunum denklemlerinin integrasyonunun alınması sonucunda, değişkenler için kontrol hacmini sağlayan ayrık eşitliklerin elde edilmesini içerir. Ayrık eşitliklerin doğrusallaştırılması ile elde edilen, doğrusal denklem sistemlerinin iterasyona bağlı çözümü ile hız, basınç ve sıcaklık gibi değişkenler verilen yakınsaklık ölçüsünü sağlayıncaya kadar güncellenir.

Sonlu hacimler yöntemi ile problem çözme işleminde genellikle şu adımlar kullanılır.

Çalışılacak bölgenin ağ programları sayesinde oluşturulacak sayısal analize uygun ağ ile kontrol hacimlere bölünmesi.

Sırasıyla momentum denkleminin, süreklilik denklemlerinin ve daha sonra enerji veya türbülans gibi diğer aranan denklemlerin çözümü.

Sonuçlandırılan denklem takımlarının iteratif çözücü sayesinde daha doğru değerlere yükseltilmesi.

Yakınsaklığın kontrolü.

Çözümün elde edilmesi.

Kontrol hacminin integrasyonunu içeren ilk adım, sonlu hacimler yöntemini diğer tüm sayısal yöntemlerden ayırmaktadır. Sayısal algoritma ile fiziksel korunum ilkesi arasındaki bu açık ve anlaşılır ilişki, sonlu hacimler yönteminin dikkat çekici en temel özelliğini oluşturur ve kullanıcılar için daha anlaşılır kılar. Sonlu kontrol hacmindeki hız bileşeni veya entalpi gibi genel bir akış değişkeninin (Φ) korunumu bu değişkenin değerini artıran veya azaltan farklı işlemlerin dengesi olarak ifade edilebilir.

$$\left[\begin{array}{c} \text{Kontrol hacmindeki} \\ \phi' \text{ nin zamana bağlı} \\ \text{değişimi} \end{array} \right] = \left[\begin{array}{c} \phi' \text{ nin konveksiyonla} \\ \text{kontrol hacmine net} \\ \text{akışı} \end{array} \right] + \left[\begin{array}{c} \phi' \text{ nin difüzyonla} \\ \text{kontrol hacmine net} \\ \text{akışı} \end{array} \right] + \left[\begin{array}{c} \text{Kontrol hacmindeki} \\ \phi' \text{ nin net artış} \\ \text{oranı} \end{array} \right]$$

Yukarıdaki korunum denklemi kolay anlaşılabilir olmakla beraber lineer olmayan ve karmaşık bir yapıya sahiptir. Bu nedenle bu denklemin çözümü iteratif bir çözüm yaklaşımı gerektirmektedir. Basınç ve hız arasında ilişki kurmak amacıyla yaygın olarak kullanılan TDMA, SIMPLE, SIMPLEC gibi çözüm yöntemleri bu yaklaşımlara örnek olarak verilebilir.

3.2.3 Sonlu Hacimler Formülasyonları

Sonlu hacimler esasına dayalı bir teknik kullanan ANSYS Fluent, çözümlemeye başlangıç hız ve basınç değerlerini kullanarak başlar. Her bir iterasyon için bir önceki iterasyonda elde edilen hız ve basınç değerleri kullanılarak momentum denklemleri çözülür. x ve y yönündeki momentum denklemlerinin çözümü, sadece hızların güncellenmesini sağlar, basınç güncellenmez. Dolayısıyla basıncın güncellenmesi için ek bir eşitliğe ihtiyaç vardır. Bunun için süreklilik ve momentum denklemlerinden elde edilen basınç düzeltme eşitliği çözülerek, basınç düzeltme faktörü elde edilir. Bu faktör, süreklilik denklemini sağlayacak şekilde basınç ve hız alanlarının güncellenmesi için kullanılır. Elde edilen veriler dahilinde enerji denklemleri çözülür ve sıcaklık alanları elde edilir. Bir önceki iterasyonda elde edilen değerlerle karşılaştırma yapılarak belirlenen yakınsaklık ölçüsünü sağlayıncaya kadar iterasyona devam edilir.

3.2.4 Türbülans Modelleri

Sayısal çözümlemede türbülans modeli olarak standart $k-\varepsilon$ türbülans modeli kullanılmıştır. İki denklemlili türbülans modelleri arasında ekonomikliği ve pek çok akış olayında kabul edilebilir doğrulukta sonuç vermesi açısından yaygın olarak kullanılan yarı ampirik bir modeldir. Türbülans kinetik enerjisi (k) ve dissipasyon oranı (ε) için yazılan iki adet transport denkleminin çözümünü ve türbülans viskozitesinin hesabını içerir. Kaldırma kuvvetleri etkisi ihmal edildiğinde, bu transport denklemleri k ve ε için sırası ile

$$\frac{\partial}{\partial x_j}(\rho k u_j) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + G_k - \rho \varepsilon + S_k \quad [3.1]$$

$$\frac{\partial}{\partial x_j}(\rho \varepsilon u_j) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right] + C_{1\varepsilon} \frac{\varepsilon}{k} G_k - C_{2\varepsilon} \rho \frac{\varepsilon^2}{k} + S_\varepsilon \quad [3.2]$$

Yukarıda verilen iki denklemlerde G_k terimi türbülans kinetik enerji terimini ifade etmektedir.

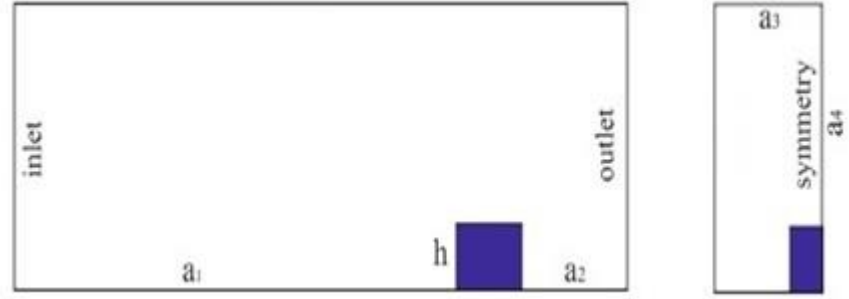
$C_{1\varepsilon}$ ve $C_{2\varepsilon}$ terimleri sabit katsayılardır. σ_k ve σ_ε terimleri k ve ε için türbülans Prandtl sayılarını ifade etmektedir. S_k ve S_ε kaynak terimleridir. Bu modelde $R=0$ olup diğer ampirik sabitleri: $C_{1\varepsilon} = 1.44$, $C_{2\varepsilon} = 1.92$, $C_\mu = 0.09$, k ve ε için tanımlanan türbülans Prandtl sayıları $\sigma_k = 1.0$, $\sigma_\varepsilon = 1.3$ dir.

3.2.5 Model Geometrisi ve Sayısal Ağ Yapısı

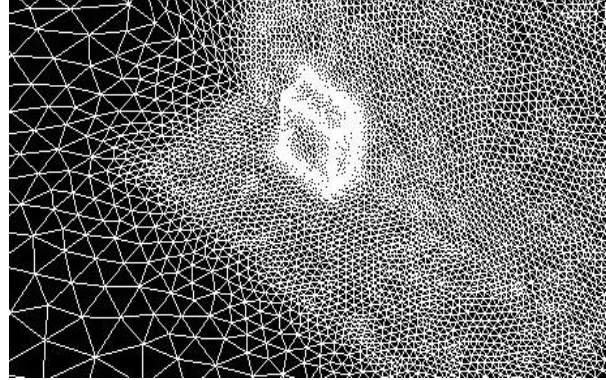
Sayısal çalışmalar, deneysel çalışmalardaki bina modelleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Tek bina geometrisi ve hesaplama alanı Şekil 3.21 gösterilmiştir. Bütün geometrik parametreler model binanın yüksekliğine göre boyutsuz olarak ifade edilmiştir. Model bina, kanalın simetri eksenine yerleştirilmiştir. Kanal kesiti deneysel çalışmada kullanılan kesitin aynısıdır. Model bina, ön yüzü ile kanal girişi arasındaki mesafe $a_1=32h$ olacak biçimde, arka yüzeyi ile kanal çıkışı arasındaki mesafe $a_2=10h$ olacak biçimde kanala yerleştirilmiştir. Ağ yapısı olarak piramit elemanlardan oluşan ve yapısal olmayan ağ yapısı ANSYS Fluent 12.1 programı kullanılarak oluşturulmuştur (Şekil 3.22). Model bina çevresi hacim bölgelerinde, yoğun ağ parametreleri kullanılarak daha sık bir ağ yapısı oluşturulmuştur. Analiz üç boyutlu olarak modellenmiştir. Aşağıda verilen tabloda sayısal modelleme için kullanılan eleman sayıları verilmiştir.

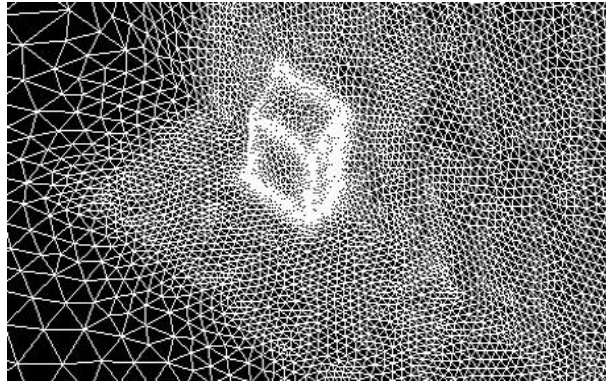
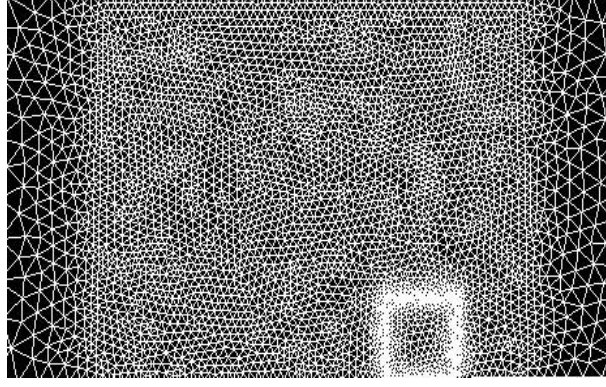
Çizelge 3.1 Sayısal ağ özellikleri

Bina Modeli	Nod Sayısı	Eleman Sayısı
Çatısız	252884	1382466
Kısa	252918	1381920
Uzun	317172	1734746



Şekil 3.21 Bina modeli ve hesaplama alanı





Şekil 3.22 Üç boyutlu mesh görüntüleri

3.2.6 Sınır Koşulları

Su kanalının girişinde ortalama türbülans yoğunluğu oldukça düşük (% 0.5) olup, bu durum sayısal çalışmalarda göz önüne alınmıştır. Bu nedenle sayısal çalışmalarda kanal girişinde hız profili olarak düzgün hız profili u_{∞} uygulanmıştır. Simetri sınır koşulu, uygulandığı sınırdaki türbülans çalkantılarını ortadan kaldırmaktadır. Modellerde, tavan yüzeyine yakın bölgelerde simetri sınır koşulunu uygulanmıştır. Model yüzeylerine ve plakaya ise kaymama prensibine dayalı duvar sınır koşulu uygulanmıştır. Kanal çıkışında, akış özelliklerinin başlangıçta bilinmediği durumlar için uygun olan dış akış sınır koşulu uygulanmıştır. Bu sınır koşulu için akış özellikleri çözüm esnasında iç bölge için elde edilen değerler kullanılarak dış değer bulma yöntemiyle tahmin edilmektedir. Yan yüzeyler ve tavan yüzeyine simetri sınır koşulu (kayan duvar) uygulanmıştır.

4. SONUÇLARIN DÜZENLENMESİ

Bu çalışmada model binalar etrafındaki akış yapısı beş ayrı kısım halinde incelenmiştir. Bunlar;

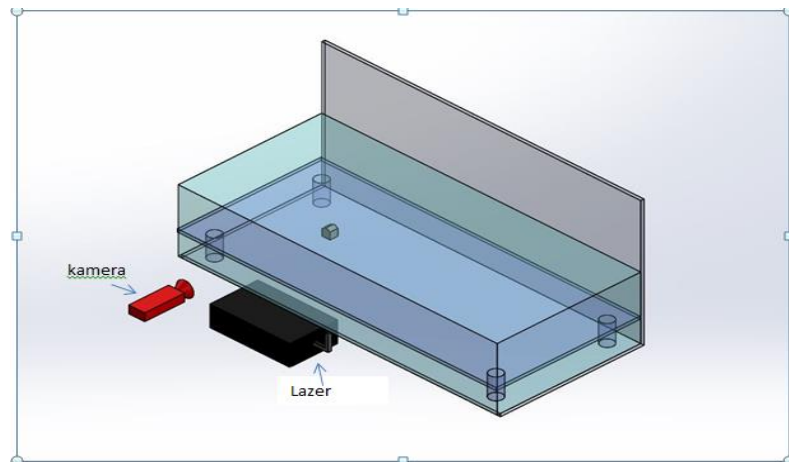
- 1) Tek bir bina model etrafındaki akış yapısının deneysel analizi
- 2) Tek bir bina model etrafındaki akış yapısının sayısal analizi
- 3) İkili olarak yerleştirilmiş bina modelleri etrafındaki akış yapısının deneysel analizi
- 4) İkili olarak yerleştirilmiş bina modelleri etrafındaki akış yapısının sayısal analizi
- 5) Üçlü olarak yerleştirilmiş bina modelleri etrafındaki akış yapısının deneysel analizi

Yukarıdaki bölümlerde, temel olarak aşağıdaki akış özellikleri farklı ölçüm yüzeyleri için elde edilerek sunulmuştur.

4.1 Ölçüm Yüzeyleri

4.1.1 Yan Görünüş Ölçüm Yüzeyleri

Yandan görünüş için kamera sistemi bina modelinin karşısına, lazer sistemi ise kanalın alt yüzeyine yerleştirilmiştir. Şekil 4.1’de deney sisteminin yandan görünüş için yerleşim düzeni gösterilmiştir. Şekil 4.2 ve Şekil 4.3’de ise lazer ve kameranın yerleşimi gösterilmiştir. Ölçümler simetri yüzeyi $z/h=0,5$ ’da gerçekleştirilmiştir. Şekil 4.4’de yandan görünüş ölçümleri için deney düzeneği içerisinde bina modellerinin yerleşim düzenleri şematik olarak çizilmiştir. Şekil 4.5’de ise görüntü alanı ayarlanırken yandan görünüş için lazer ve kameranın görüntülediği bölge gösterilmiştir.



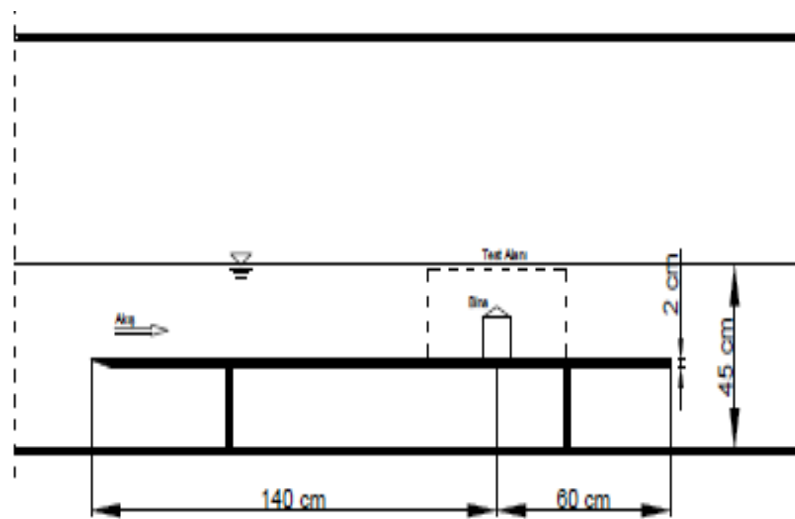
Şekil 4.1 Yan görünüş için lazer ve kameranın yerleşimi



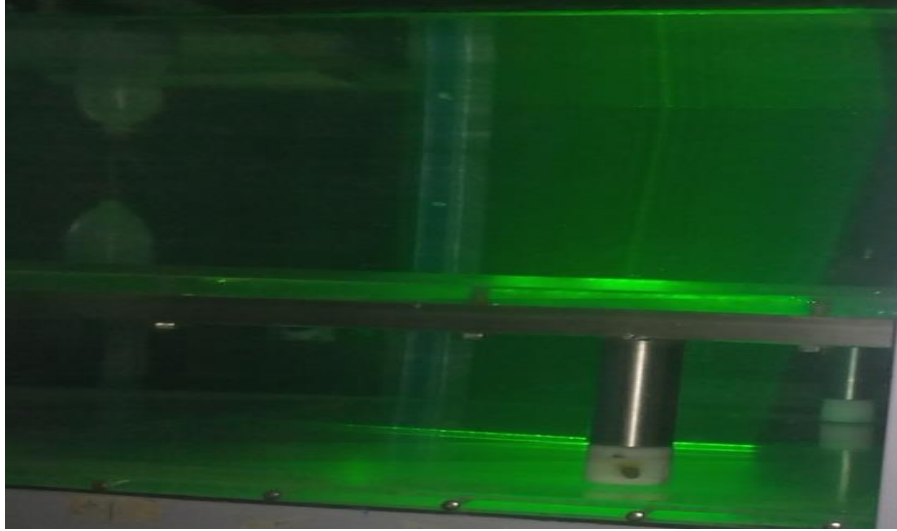
Şekil 4.2 Deney düzeneğinde lazerin yerleşimi



Şekil 4.3 Deney düzeneğinde kameranın yerleşimi



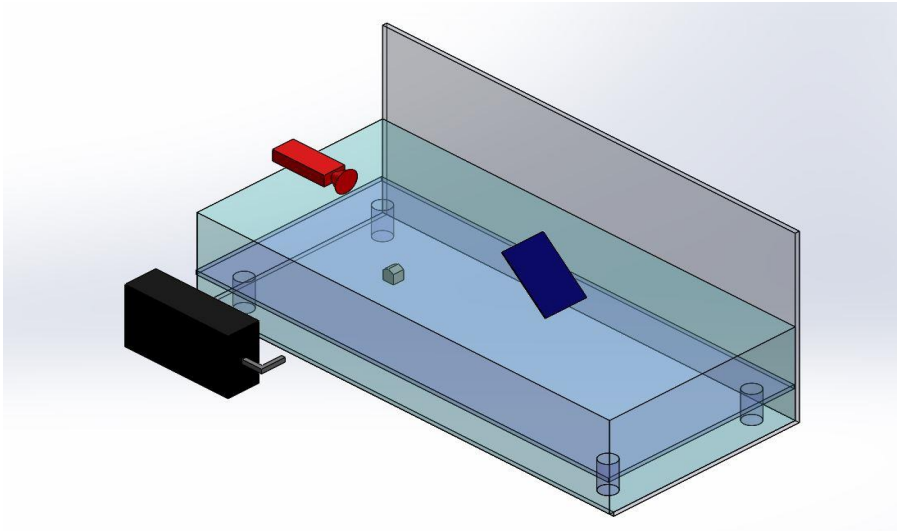
Şekil 4.4 Yandan görüntüş için deney düzeneğinde bina modelinin görünümü



Şekil 4.5 Yandan görünüş için görüntü alanının görünümü

4.1.2 Üst Görünüş Ölçüm Yüzeyleri

Üstten görünüş için lazer binanın karşısına, kamera kanalın üstüne yerleştirilmiş olup, kameranın karşısına 45° eğimli ayna konularak deney düzeneği oluşturulmuştur. Şekil 4.5’da lazer ve kameranın yerleşimi şematik görünüşü gösterilmiştir. Üst görünüş ölçümleri, model üstünde üst akım bölgesine doğru $y/h=1$ yakın yüzeylerinde ve $y/h=0,5$ uzak yüzeylerinde gerçekleştirilmiştir. Şekil 4.7 ve Şekil 4.8’de ise deney düzeneği üzerinde lazer ve kameranın yerleşim pozisyonları gösterilmiştir.



Şekil 4.6 Üstten görünüş için lazer ve kameranın şematik görünüşü



Şekil 4.7 Deney düzeneğinde üst görünüş için kamera ve aynanın yerleşimi



Şekil 4.8 Deney düzeneğinde üst görünüş için kamera ve aynanın yerleşimi

4.2 Ölçülen Akış Özellikleri

4.2.1 Ortalama Hızlar

Herhangi bir konum ve zamandaki hız, ortalama ve çalkantı hız bileşenlerinin toplamından oluşmaktadır. Bu çalışmada her bir ölçüm yüzeyi için ortalama hızlar, 500 resmin ortalaması olarak hesaplanmıştır.

4.2.2 Akım Çizgileri

Akım çizgileri herhangi bir zamandaki yerel hız vektörlerine teğet olan çizgilerin birleşimi olarak tanımlanmaktadır.

4.2.3 Girdap (Eş Yüzey)

Girdap, akış parçacıklarının dönmesinin bir ölçüsüdür. Her bir ölçüm yüzeyi için girdap değerleri, ortalama hızlar kullanılarak hesaplanır.

5. TEK BİNA MODELİ ETRAFINDAKİ AKIŞ YAPISININ DENEYSEL ve SAYISAL OLARAK İNCELENMESİ

5.1 Tek Bina Modeli Etrafındaki Akış Yapısının Deneysel Olarak İncelenmesi

5.1.1 Giriş

Küt cisim; akış doğrultusuna göre oldukça büyük bir dik kesit alana sahip ve akışkanı yüzeyden ayırmaya zorlayan, yani sınır tabaka teorisini gerçekleştiren cisimler olarak tanımlanabilir. Başka bir ifadeyle; bir cisim etrafındaki akışta, akış çizgileri cismin yüzeyini takip etmiyor ve ayrıca akışın yüzeyden ayrılmasına ve cismin arkasında geniş bir iz bölgesi oluşmasına neden oluyorsa, bu cisim aerodinamik açıdan küt cisim olarak adlandırılır. (Sarioğlu, 1997). Akış doğrultusundaki küt cisimler, geometrileri ve akışa direnç göstermeleri nedeniyle periyodik olarak girdap oluştururlar. Girdap sonucu oluşan dinamik kuvvetler, cisimler üzerinde titreşime neden olabilmektedir. Akış ile cismin etkileşimi sonucu meydana gelen dinamik yükler ve gürültü bu sistemlerde önemli derecede hasarlar meydana getirebilirler. Bu çeşit etkileşim, türbin ve helikopter kanatlarının hücum kenarlarında, yüksek binalar etrafında, petrol platformları ayaklarında, ısı değiştiricilerinin tüp demetleri etrafında meydana gelebilir. Bu yüzden girdap kopmasının araştırılması, son derece önemlidir (Akçadırcı, 2006).

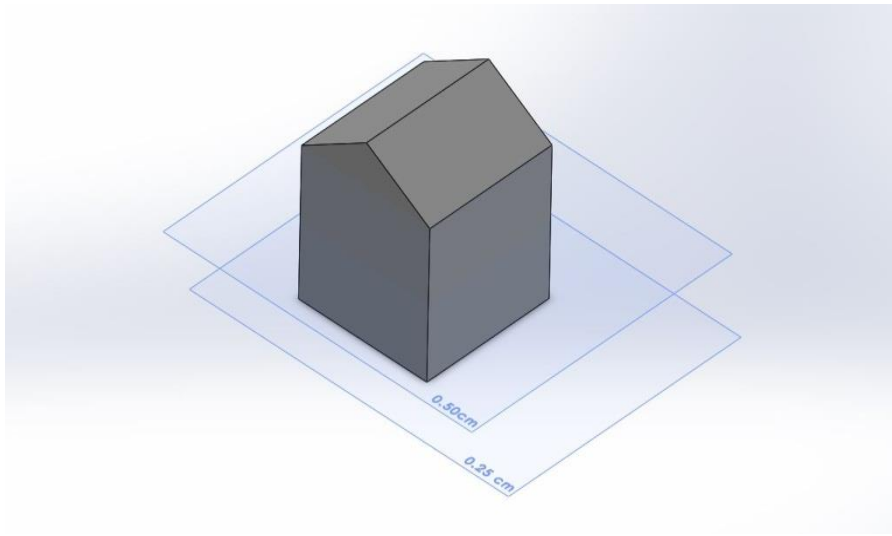
Deneysel ve teorik çalışmaların araştırma konusu olan girdap kopmalarının sebebi ise, sınır tabakanın yüzeyden ayrılmasıdır. Cisim üzerinde oluşan sınır tabaka, cismin arkasında bir iz bölgesi oluşturacak şekilde devam etmektedir. Sınır tabaka içerisinde akışkan molekülleri cidarı takip ederken, sürtünmeler nedeniyle kinetik enerjilerinin büyük bir kısmını kaybederler (Akçadırcı, 2006). Enerji korunumunun önemi nedeniyle, son zamanlarda küt cisim akışları konusu üzerinde önemle durulmaktadır. Büyük yapılar, rüzgâr kaynaklı büyük genlikli titreşimlerden sakınılacak şekilde dizayn edilmiş olmalıdır. Küt cisimler ve yapılar etrafındaki rüzgâr akımı, bu cisimler etrafında bir basınç dağılımı meydana getirmektedir. Bu basınçlar, cisme zarar verebilen veya rahatsız edici bir şekilde titreşebilen kuvvetler üretecek şekilde, cismin yüzeyi boyunca etkilerini sürdürürler. Sınır tabakanın yüzeyden ayrılmasıyla oluşan bu basınç kuvvetleri, küt bir cisimde serbest akış yönündeki sürüklenme kuvvetini de belirlerler. Ayrıca düz bir yüzey üzerinde bulunan küt cisimler etrafındaki türbülanslı akış içerisinde, bir kayma tabakasının oluşması da

kaçınılmazdır. Bunun en önemli nedeni cismin üzerinde bulunduğu yüzeydir (Akçadırcı, 2006). Bundan dolayı farklı geometrik şekillere sahip küt cisimlerin aerodinamiğini etkileyen bu akım karakteristiklerinin araştırılması gereken önemli bir konudur.

Bu çalışmada, Parçacık izlemeli hız ölçüm yöntemi (PIV) kullanılmıştır. Farklı ölçüm yüzeylerindeki zaman ortalamalı hız ölçümleri, girdap eğrileri elde edilmiştir. Bu bölümde tek bina modelleri kullanılarak (model A, model B, model C, model D) elde edilen deneysel sonuçlar incelenmiştir. Deneyler, kapalı çevrim su kanalında serbest akım hızının 0.193 m/s olması durumu için gerçekleştirilmiştir. Çatısız bina model yüksekliğine göre hesaplanan Reynolds sayısının değeri $Re=9640$ dır. .

5.1.2 Tek Bina Modeli Akış Yapısının Deneysel Üst Görünüş Ölçümleri

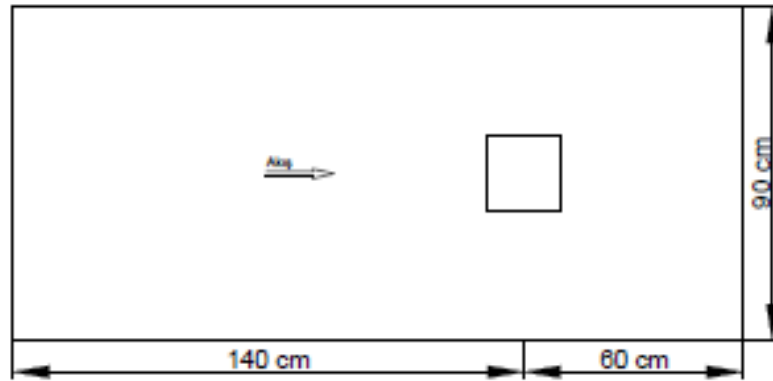
Bina modelleri etrafındaki akış yapısının, (Şekil 5.1) x-z düzlemlerindeki ölçümleri $y/h=0,5$ ve $y/h=1$ yüzeylerinde gerçekleştirilmiştir. Şekil 5.2’de tek bina modelinin kanal içerisindeki şematik görünüşü verilmiştir.



Şekil 5.1 Üst görünüş ölçüm yüzeyleri



Şekil 5.2 Üstten görünüş için tek bina modelinin yerleşimi



Şekil 5.3 Tek bina modellerinin kanal içerisindeki şematik görünüşleri

5.1.2.1 Genel Akış Yapısı

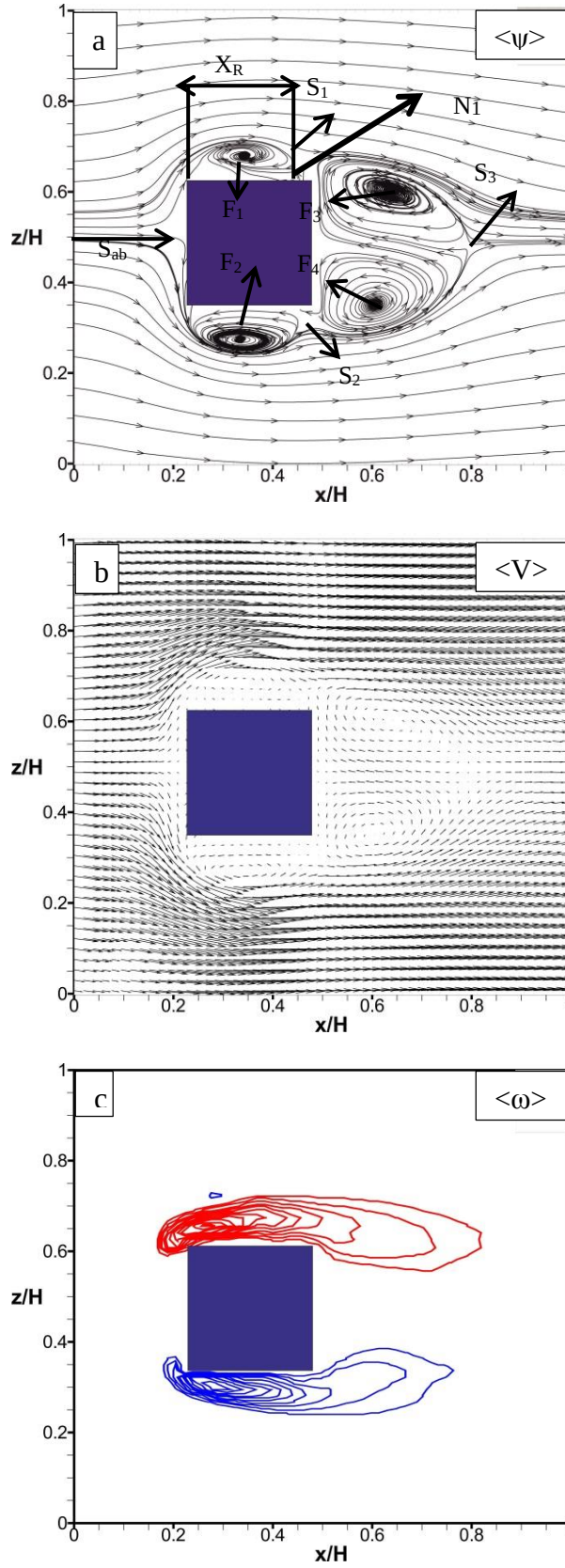
Modeller etrafındaki genel akış yapısını göstermek için anlık ve zaman ortalamalı hız alanı özellikleri elde edilmiştir. Bu bölümde model binalar etrafındaki zaman ortalamalı boyutsuz vektör alanı $\langle V \rangle$, akım çizgileri $\langle \psi \rangle$ ve boyutsuz girdap (eş değer) eğrileri $\langle \omega \rangle$ simetri yüzeyi $y/h=0,5$ ve $y/h=1$ yüzeyi için verilmiştir. Elde edilen verilerde hız vektörleri akışın yönünü ve dağılımını gösterirken, akım çizgileri anlık akış verilerinin anlaşılmasını kolaylaştırmaktadır. Türbülanslı sınır tabaka etkisiyle eş değer eğrileri oluşmaktadır. Girdap eğrileri (eş değer) renklendirme yapılarak verilmiştir. Bu renklendirme de mavi ve kırmızı renkler girdapların merkezlerini daha net ifade etmektedir. Pozitif (mavi renk) girdapların saatin tersi yönde hareket izlediklerini, negatifte (kırmızı renk) ise saat yönünde bir hareket izlediklerini göstermektedir. Aşağıda sırayla tek bina modelleri (model A, model B, model C, model

D) için vektör alanı $\langle V \rangle$, akım çizgileri $\langle \psi \rangle$ ve boyutsuz girdap eş değer eğrileri $\langle \omega \rangle$ verilmiştir.

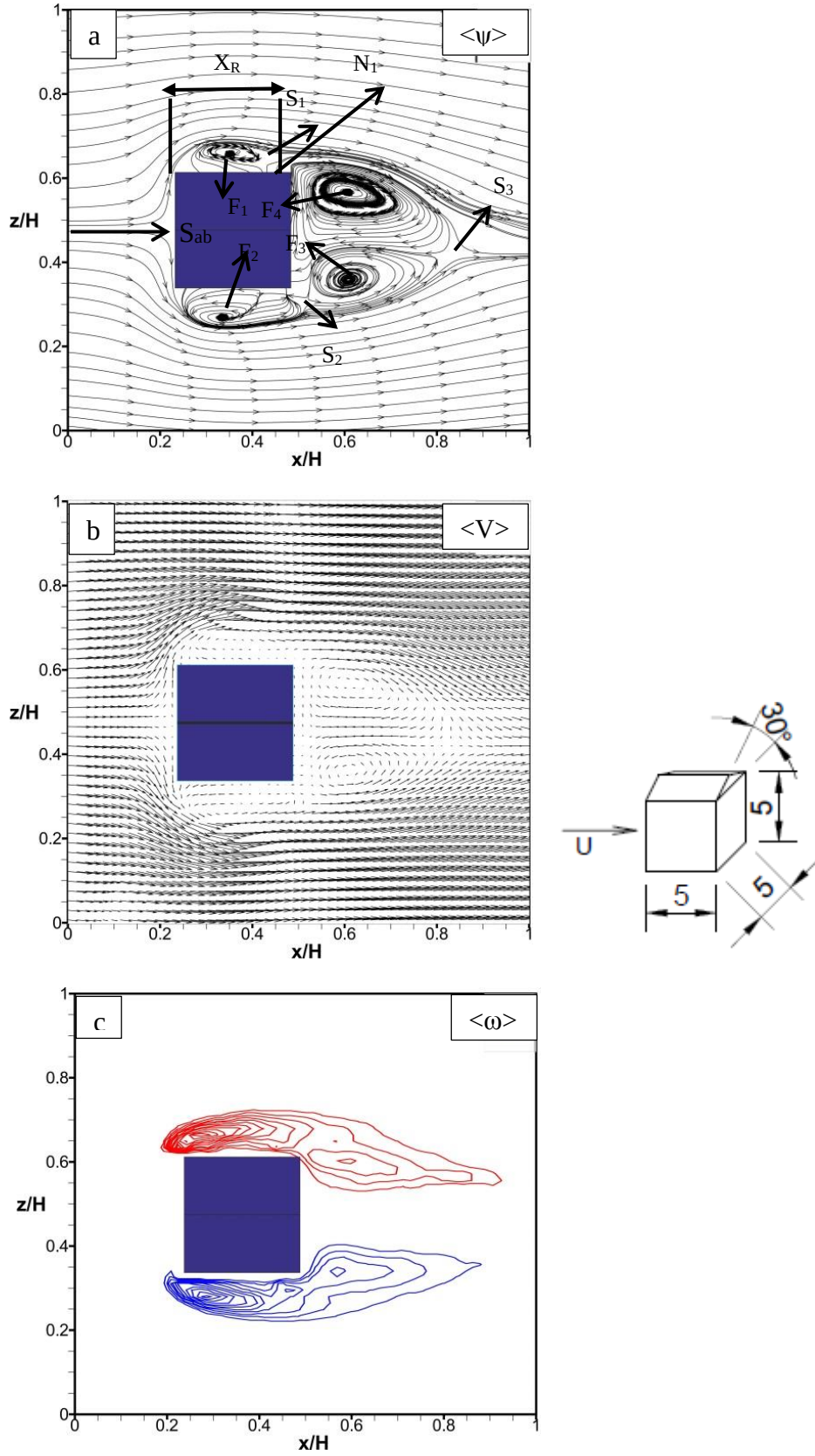
Şekil 5.4’de model boyutları 5cmx5cmx5cm olarak alınan kare kesitli çatısı olmayan bina modeli çevresindeki akış yapısı incelenmiştir. Modelin ön bölgesinde oluşan durma noktasından S_{ab} itibaren akış, yukarı ve aşağı yönlü olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. (Şekil 5.4a). Yukarı ayrılan akış, model yan-sol köşesinden ayrılarak bir girdap bölgesi oluşturmaktadır.(F₁) Bu girdap merkezi $x=58,36\text{mm}$ ve $z=154,90\text{mm}$ noktasındadır. Bu girdabın sağ kısmında durma noktası (eyer noktası) S_1 oluşmuştur. Bu noktanın merkezi $x=82,45\text{mm}$ ve $z=154,06\text{mm}$ olarak belirlenmiştir. Model yan sol ayrılma bölgesi, N_1 noktasına kadar uzanmakta olup, uzunluğu $X_R=29,1\text{mm}$, kalınlığı ise 10.1mm olarak ölçülmektedir. Yüzeyden ayrılmanın nedeni, ayrılma noktasındaki kinetik enerjinin, basınç enerjisine göre düşük yoğunlukta kalmasıdır. Aşağı ayrılan akış model yan sağ köşesinden ayrılarak bir girdap bölgesi oluşturmaktadır. F_2 bu girdap merkezi $x=58,11\text{mm}$ ve $z=98,15\text{mm}$ noktasındadır. Bu girdabın sağ kısmında durma noktası S_2 oluşmuştur. Bu noktanın merkezi $x=82,45\text{mm}$ ve $z=104,9354\text{mm}$ olarak belirlenmiştir. Model yan sağ ayrılma bölgesi, N_2 noktasına kadar uzanmakta olup, uzunluğu $X_R=25,97\text{mm}$, kalınlığı ise $9,8\text{mm}$ olarak ölçülmektedir. Model arka bölgesinde, üst yüzeyden ve alt yüzeyden kayma tabakaları etkileşime girmekte ve üst üste konumlanmış, simetrik girdap çiftini oluşturmaktadır. Üst tarafta konumlanmış ve saat yönünde dönen girdap F_3 girdap merkezi $x=108,42\text{mm}$ ve $z=143,61\text{mm}$ noktasındadır. Burası aynı zamanda negatif çevrintinin olduğu bölge olup, girdap eşdeğer eğrileri kırmızı çizgi olarak gösterilmiştir (Şekil 5.4c). Alt tarafta konumlanmış girdap F_4 merkezi $x=102,16\text{mm}$ ve $z=108,88\text{mm}$ noktasındadır. Bu girdap ise saatin tersi yönde dönmekte olup, burada girdap eşdeğer eğrileri mavi renktedir. Oluşan F_3 ve F_4 girdap bölgeleri, modelin alt ve üst kısımlarındaki ayrılma noktalarına bağlı enerji kayıplarının ve sınır tabaka ayrılmasının sonucu oluşmaktadır. Ölçüm sonucu modelin yukarı akım ve aşağı akım bölgesi için ayrı olarak elde edilen 7326 (99x74) adet vektör Şekil 5.4b’de simetri yüzeyi $y/h=0,5$ için gösterilmiştir. Bina ve taşıt gibi yüzeyler arkasındaki ayrılma bölgesinin büyüklüğü direnç kuvvetini doğrudan etkilemektedir (Guilmineau, 2008). Model arkasındaki ayrılma bölgesinin uzunluğu 50mm olarak belirlenmiştir. Bina arkasında oluşan F_3 ve F_4 girdap büyüklükleri eşit olduğundan

durma noktası S orta bölgede oluşmuştur. Durma noktası S_3 'ün koordinatları ise $x=135,33\text{mm}$ ve $z=127,804\text{mm}$ olarak belirlenmiştir.

Şekil 5.5'de model boyutları $5\text{cm} \times 5\text{cm} \times 5\text{cm}$ olarak alınan kare kesitli 30° eğimli bina modeli çevresindeki akış yapısı incelenmiştir. Genel olarak akış yapıları, çatısız modele (Model A) benzer olmakla birlikte birtakım farklılıklar göze çarpmaktadır. Bina çatısından kaynaklı olarak modelin arkasında oluşan üst üste konumlanan girdaplardaki simetrik yapı bozulmuştur. Bunun sebebinin modelin çatılı olmasından ve görüntünün alındığı yüzey açısından bina çatısına yakın olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Alttaki girdap göreceli olarak daha küçük oluşmuştur. Modelin ön bölgesinde oluşan durma noktasından, S_{ab} itibaren yukarıya doğru ayrılan akış, model yan-sol köşesinden ayrılan akışın oluşturduğu girdap bölgesi, F_1 merkezi $x=58,99\text{mm}$ ve $z=152,64\text{mm}$ noktasındadır (Şekil 5.5a). Ayrılma bölgesi, N_1 noktasına kadar uzanmakta olup, uzunluğu $X_R=26,28\text{mm}$, kalınlığı ise $10,1\text{mm}$ olarak ölçülmektedir. Aşağı ayrılan akış model yan sağ köşesinden ayrılan akışın oluşturduğu girdap bölgesi F_2 merkezi $x=58,45\text{mm}$ ve $z=97,59\text{mm}$ noktasındadır. Ayrılma bölgesi, N_2 noktasına kadar uzanmakta olup, uzunluğu $X_R=40,36\text{mm}$ kalınlığı ise $12,7\text{mm}$ olarak ölçülmektedir. Bu yüzeyde ayrılma bölgesinin uzunluğu ve kalınlığı da artmıştır. Bu kısımda sınır tabaka kalınlığının arttığını göstermektedir. Bina arkasında oluşan girdap çiftinden üst tarafta konumlanmış ve saat yönünde dönen girdap daha büyük alan kaplamakta olup, F_3 girdap merkezinin koordinatları $x=104,04\text{mm}$ $z=139,37\text{mm}$ noktasındadır. Burası aynı zamanda saat yönünde dönen girdabın olduğu bölge olup eş girdap eğrileri kırmızı renkle gösterilmiştir (Şekil 5.5c). Alt taraftaki girdap ise saatin tersi yönde dönmekte olup, F_4 merkezi $x=103,95\text{mm}$ $z=109,73\text{mm}$ noktasındadır. Burası saatin tersi yönünde dönen girdabın olduğu bölgedir. Model arkasındaki girdap uzunluğu $58,19\text{mm}$ olarak belirlenmiştir. Durma noktası S_3 ise bina arkasından uzaklaşarak aşağıya doğru kaymakta $x=144,44\text{mm}$ ve $z=119,05\text{mm}$ noktalarında oluşmuştur. Bina arkasında üstte konumlanan girdap F_3 genişlemekte olup, buna karşılık alt taraftaki girdap ise küçülmektedir. Bina arkasında oluşan girdap bölgelerinin boyutlarında gözlemlenen değişimlere neden olarak, model çatısından kaynaklı olarak model cidarlarından uzaklaştıkça, girdap bölgelerinin gelişim mesafesine olan ihtiyaç ve sınır tabaka gelişimi gösterilebilir.

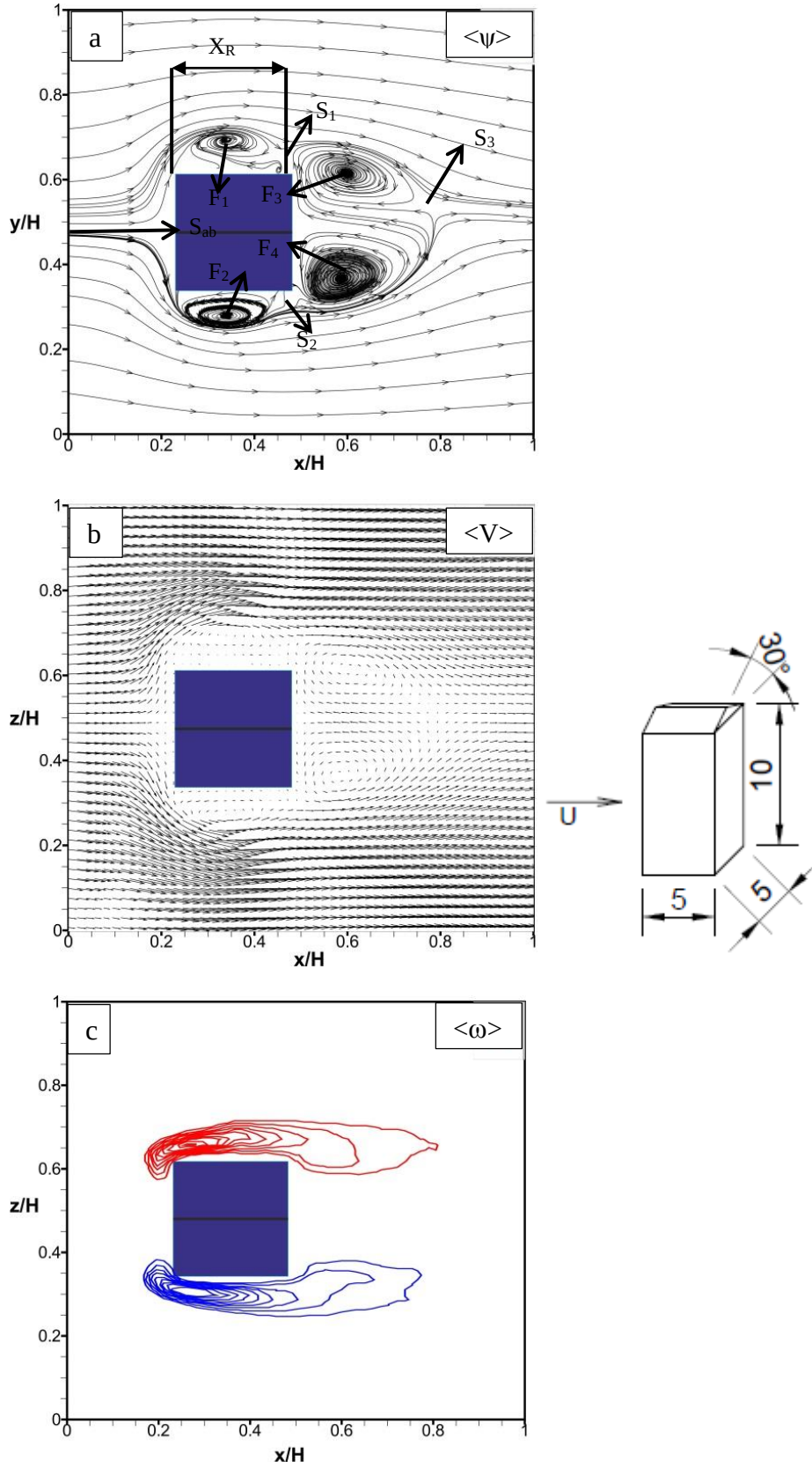


Şekil 5.4 Tek bina modeli için model A etrafındaki akış için $y/h=0,5$ yüzeyindeki zaman ortalama a) akım çizgileri $\langle \psi \rangle$, b) hız dağılımı $\langle V \rangle$, c) girdap eşdeğer eğrileri $\langle \omega \rangle$, minimum ve girdap eşdeğer eğrileri artış değeri $\langle \omega \rangle_{\min} = \pm 4s^{-1}$ ve $\Delta \langle \omega \rangle = 2s^{-1}$



Şekil 5.5 Tek bina modeli için model B etrafındaki akış için $y/h=0,5$ yüzeyindeki zaman ortalama a) akım çizgileri $\langle \psi \rangle$, b) hız dağılımı $\langle V \rangle$, c) girdap eşdeğer eğrileri $\langle \omega \rangle$, minimum ve girdap eşdeğer eğrileri artış değeri $\langle \omega_{min} \rangle = \pm 4 \text{ s}^{-1}$ ve $\Delta \langle \omega \rangle = 2 \text{ s}^{-1}$

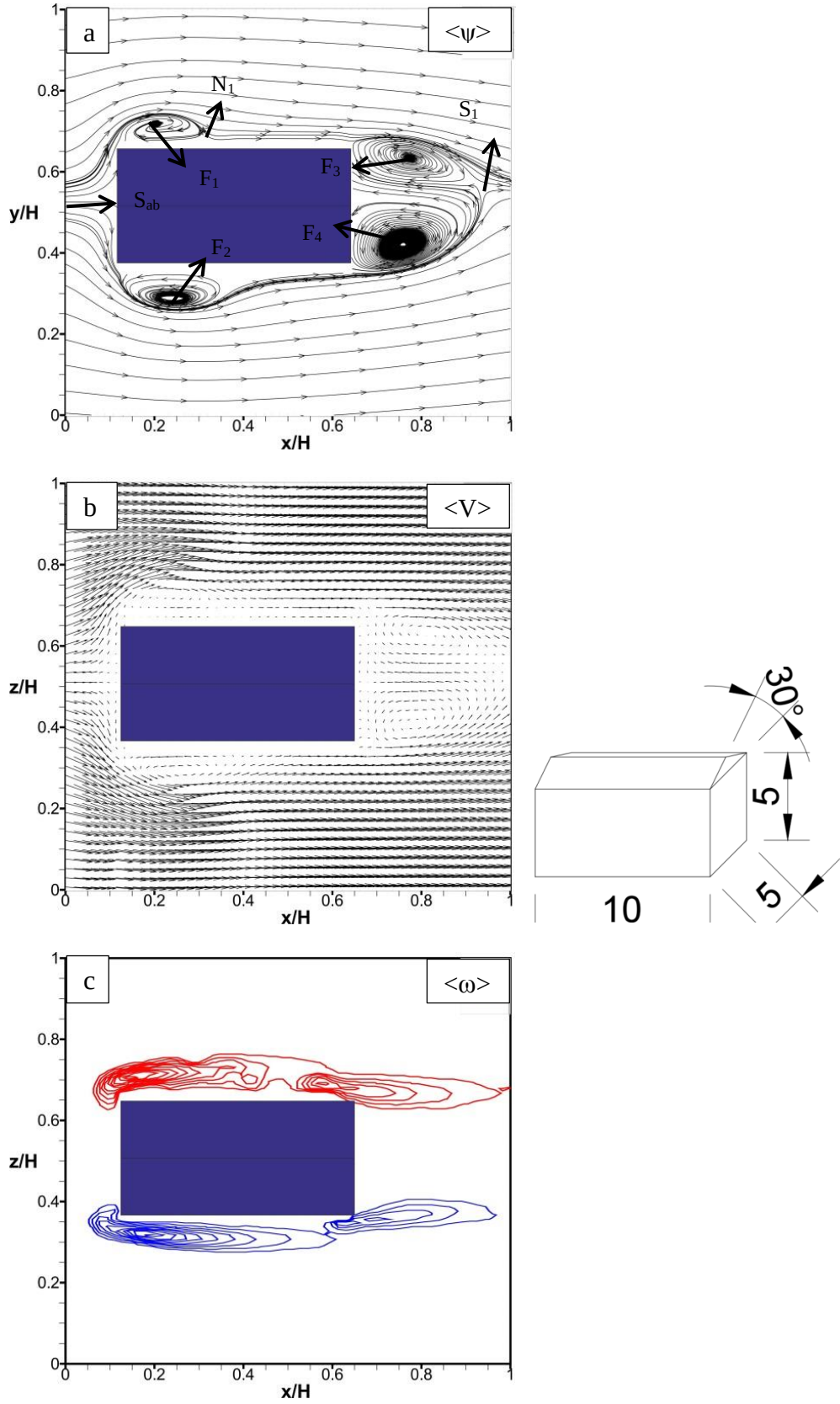
Şekil 5.6'de model boyutları 5cmx10cmx5cm olarak alınan dikdörtgen kesitli 30° eğimli bina modeli çevresindeki akış yapısı incelenmiştir. Genel olarak akış yapıları, çatılı kısa modele (Model B) benzer olmakla birlikte birtakım farklılıklar göze çarpmaktadır. Model B'de modelin arkasında oluşan girdaplardaki simetrik yapı bozukluğu bu modelde oluşmamıştır. Bunun sebebinin bina yüksekliği açısından görüntünün alındığı alan açısından çatı yüzeyinden uzak olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Modelin ön bölgesinde oluşan durma noktasından S_{ab} itibaren yukarıya doğru ayrılan akış, model yan-sol köşesinden ayrılan akışın oluşturduğu girdap bölgesi F_1 merkezinin koordinatları $x=57,31\text{mm}$ ve $z=156,60\text{mm}$ noktasındadır. (Şekil 5.6a). Ayrılma bölgesi, N_1 noktasına kadar uzanmakta olup, Bu girdap uzunluğu $X_R=30,66\text{mm}$, kalınlığı ise 8,65mm olarak ölçülmektedir. Aşağı ayrılan akış model yan sağ köşesinden ayrılan akışın oluşturduğu girdap bölgesi F_2 merkezinin koordinatları $x=57,72\text{mm}$ ve $z=99,00\text{mm}$ noktasındadır. Ayrılma bölgesi, N_2 noktasına kadar uzanmakta olup, uzunluğu $X_R=30\text{mm}$, kalınlığı ise 10,1mm olarak ölçülmektedir. Bina arkasında oluşan girdap çiftinden üst tarafta konumlanmış ve saat yönünde dönen girdap daha büyük alan kaplamakta olup F_3 girdap merkezinin koordinatları $x=100,44\text{mm}$ $z=146,437\text{mm}$ noktasındadır. Burası aynı zamanda saat yönünde dönen girdabın olduğu bölge olup girdap eşdeğer eğrileri kırmızı renkle gösterilmiştir (Şekil 5.6c). Alt taraftaki girdap ise saatin tersi yönde dönmekte olup F_4 merkezinin koordinatları $x=99,82\text{mm}$ $z=110,86\text{mm}$ noktasındadır. Burası saatin tersi yönünde dönen girdabın olduğu bölgedir. Model arkasındaki ayrılma bölgesinin uzunluğu 46,75mm olarak belirlenmiştir. Bu bölgede oluşan F_3 girdabı uzunluğu ve kalınlığı azalmış buna karşılık F_4 alt girdap uzunluğu ve kalınlığı artmıştır. Bu sebeple durma noktası yukarı kaymıştır. Durma noktası S_3 ise bina arkasından uzaklaşarak yukarıya doğru kaymakta $x=134,39\text{mm}$ ve $z=135,709\text{mm}$ noktalarında oluşmuştur.



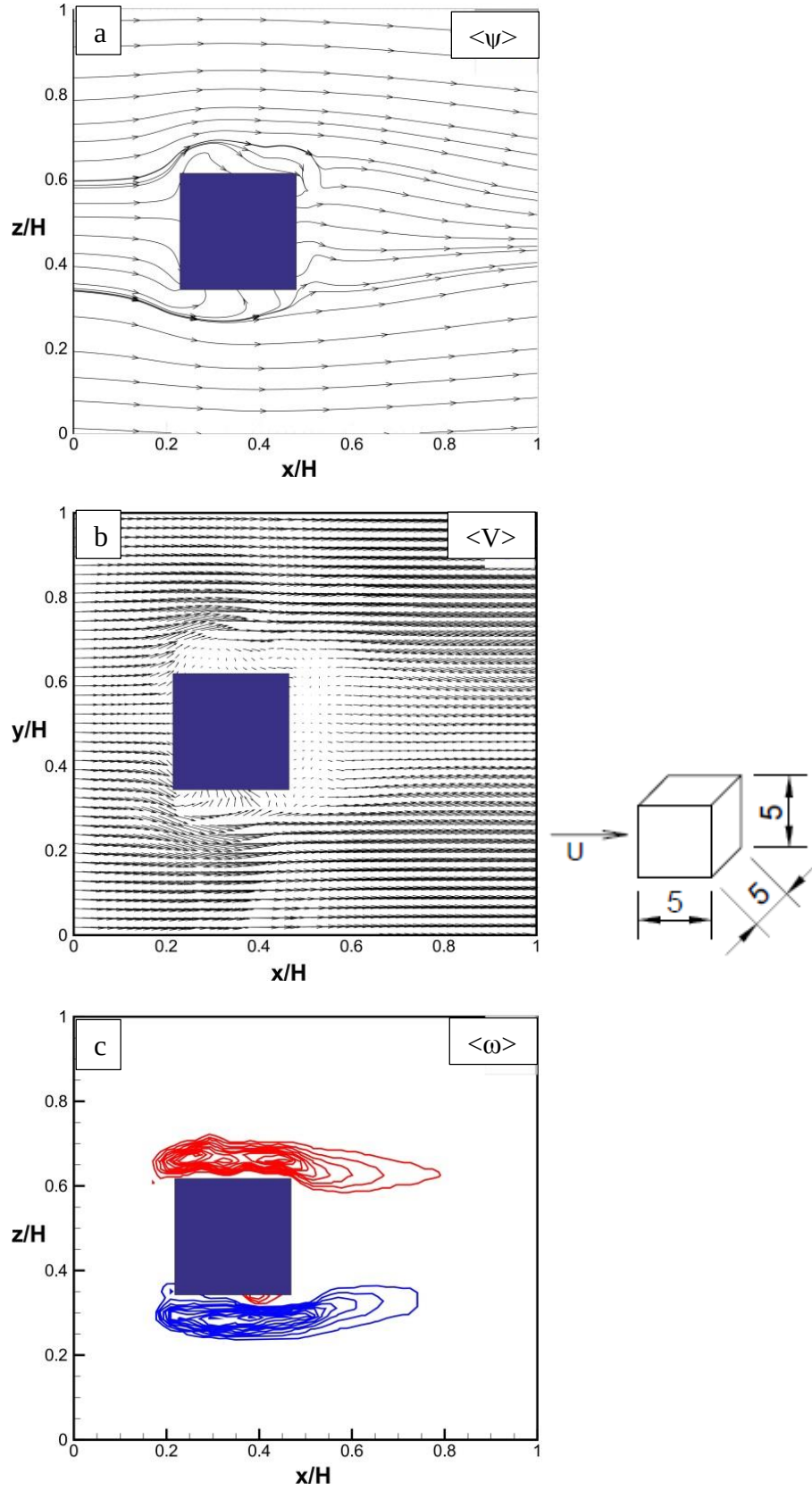
Şekil 5.6 Tek bina modeli için model C etrafındaki akış için $y/h=0,5$ yüzeyindeki zaman ortalama a) akım çizgileri $\langle \psi \rangle$, b) hız dağılımı $\langle V \rangle$, c) girdap eşdeğer eğrileri $\langle \omega \rangle$, minimum ve girdap eşdeğer eğrileri artış değeri $\langle \omega \rangle_{\min} = \pm 4 s^{-1}$ ve $\Delta \langle \omega \rangle = 2 s^{-1}$

Şekil 5.7’de model boyutları 10cmx5cmx5cm olarak alınan dikdörtgen kesitli 30° eğimli bina modeli çevresindeki akış yapısı incelenmiştir. Modelin ön bölgesinde oluşan durma noktasından S_{ab} itibaren yukarıya doğru ayrılan akış, model yan-sol köşesinden ayrılan akışın oluşturduğu girdap bölgesi F_1 merkezinin koordinatları $x=36,95\text{mm}$ ve $z=160,55\text{mm}$ noktasındadır. Ayrılma bölgesi, N_1 noktasına kadar uzanmakta olup, uzunluğu $X_R=32,8\text{mm}$ kalınlığı ise $7,354\text{mm}$ olarak ölçülmektedir. Aşağı ayrılan akış model yan sağ köşesinden ayrılan akışın oluşturduğu girdap bölgesi F_2 merkezinin koordinatları $x=42,92\text{mm}$ ve $z=100,41\text{mm}$ noktasındadır. (Şekil 5.7a). Ayrılma bölgesi, N_2 noktasına kadar uzanmakta olup, uzunluğu $X_R=38,05\text{mm}$, kalınlığı ise $8,625\text{mm}$ olarak ölçülmektedir. Bina arkasında oluşan girdap çiftinden; üst tarafta konumlanmış ve saat yönünde dönen girdap daha büyük alan kaplamakta olup, F_3 girdap merkezi $x=139,31\text{mm}$ $z=148,69\text{mm}$ noktasındadır. Burada girdap eşdeğer eğrileri kırmızı renkle gösterilmiştir (Şekil 5.7c). Alt taraftaki girdap ise saatin tersi yönde dönmekte olup F_4 merkezinin koordinatları $x=136,66\text{mm}$ $z=118,76\text{mm}$ noktasındadır. Bina arkasındaki alt tarafta konumlanmış olan girdap üst kısımdaki girdaba göre kalınlığı daha büyüktür. Model arkasındaki ayrılma bölgesinin uzunluğu $53,77\text{mm}$ olarak belirlenmiştir. Durma noktası S_1 merkeznin koordinatları $x=168,8\text{mm}$ ve $z=139,09\text{mm}$ noktalarında oluşmuştur.

Şekil 5.8’de model boyutları 5cmx5cmx5cm olarak alınan kare kesitli çatısı olmayan bina modeli çevresindeki akış yapısı $y/h=1$ simetri yüzeyinden alınmıştır. Modelin ön bölgesinde oluşan durma noktasından S_{ab} itibaren akış, yukarı ve aşağı yönlü olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. (Şekil 5.8a). Yukarı ve aşağı ayrılan her iki akışta bina yan yüzeylerinde ve bina arka bölgelerinde girdap bölgesi oluşturmada akışına devam etmiştir. Buna neden olarak sınır tabaka etkisinin binanın simetri ekseninden yan yüzeylere gidildikçe azalması gösterilebilir.

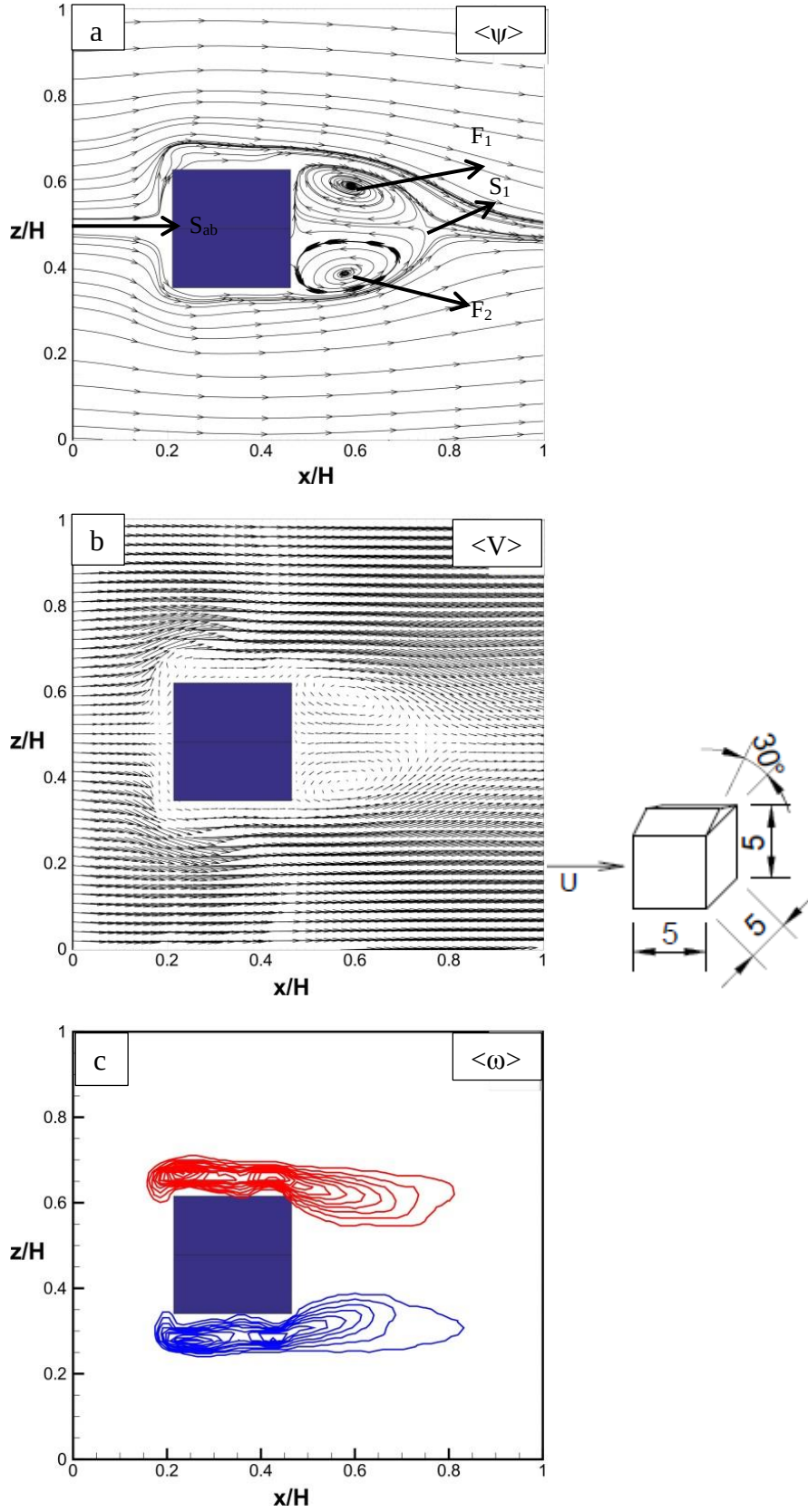


Şekil.5.7 Tek bina modeli için model D etrafındaki akış için $y/h=0,5$ yüzeyindeki zaman ortalama a) akım çizgileri $\langle \psi \rangle$, b) hız dağılımı $\langle V \rangle$, c) girdap eşdeğer eğrileri $\langle \omega \rangle$, minimum ve girdap eşdeğer eğrileri artış değeri $\langle \omega_{min} \rangle = \pm 4s^{-1}$ ve $\Delta \langle \omega \rangle = 2s^{-1}$



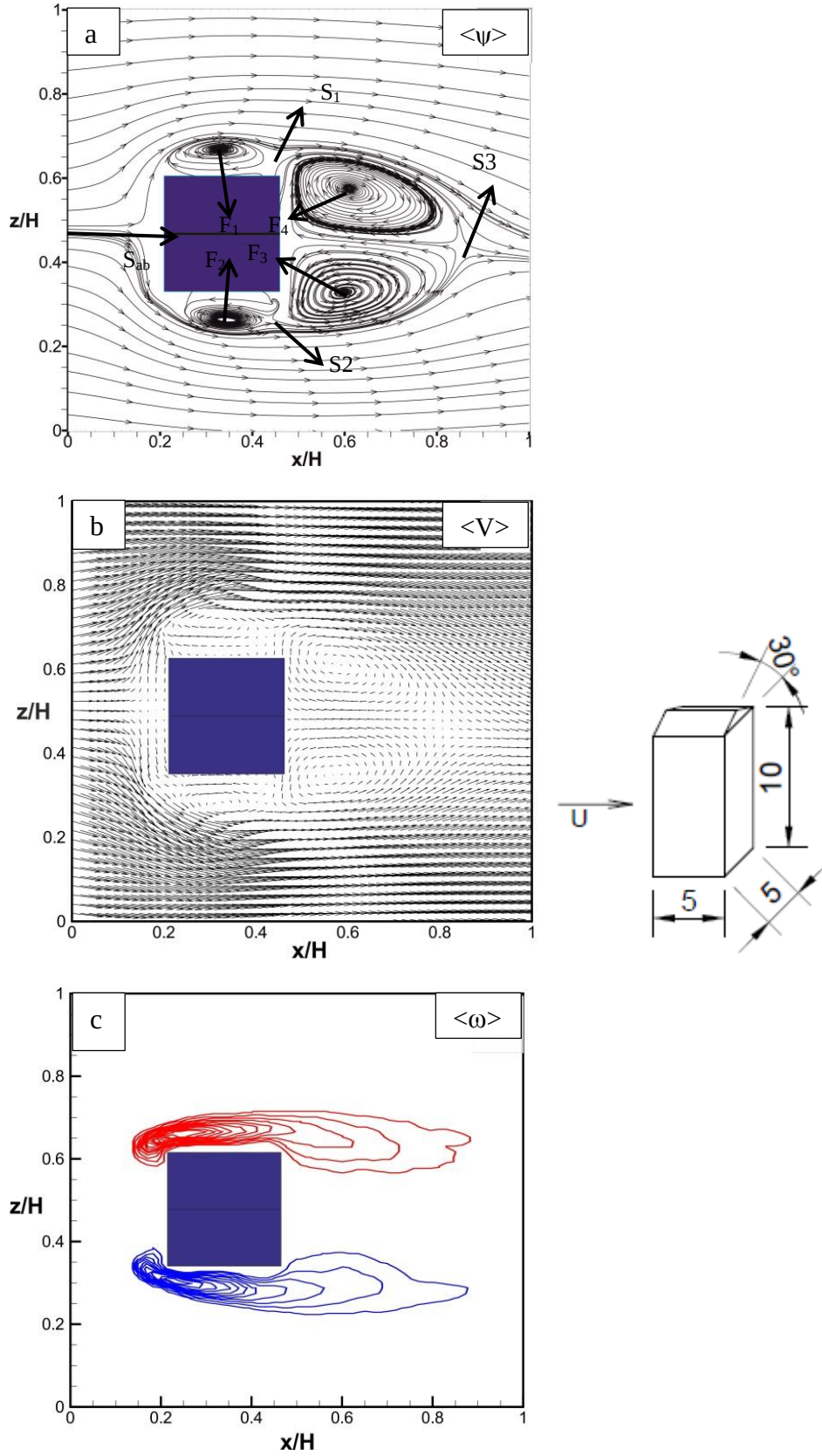
Şekil 5.8 Tek bina modeli için model A etrafındaki akış $y/h=1$ yüzeyindeki zaman ortalama a) akım çizgileri $\langle \psi \rangle$, b) hız dağılımı $\langle V \rangle$, c) girdap eşdeğer eğrileri $\langle \omega \rangle$, minimum ve girdap eşdeğer eğrileri artış değeri $\langle \omega_{\min} \rangle = \pm 4s^{-1}$ ve $\Delta \langle \omega \rangle = 2s^{-1}$

Şekil 5.9’de model boyutları 5cmx5cmx5cm olarak alınan kare kesitli 30° eğimli bina modeli çevresindeki akış yapısı $y/h=1$ simetri yüzeyinde incelenmiştir. Akış yapıları, çatısız modele (Model A) çok farklıdır. Bu modelde akış çatı bölgesinden alındığı için bina yan kısımlarında girdap bölgeleri oluşmamıştır. Modelin ön bölgesinde oluşan durma noktasından S_{ab} itibaren yukarı ayrılan akış, model yan-sol köşesinden akış ayrılmadan devam etmiştir. Bu yüzden bir girdap bölgesi oluşmamıştır. (Şekil 5.9a).Aşağı ayrılan akışta model yan sağ köşesinden ayrılmadan devam ettiğinden bu bölgede de girdap bölgesi oluşmamıştır. Şekil 5.9a’da görüldüğü gibi zaman ortalama akım çizgileri, $\langle \psi \rangle$ bina arkasında ise üst tarafta konumlanmış ve birbirine simetrik yapıda oluşan iki girdap bölgesi oluşumunu göstermektedir. Üst kısımdaki girdap saat yönünde dönmekte olup F_1 girdap merkezinin koordinatları $x=106,84\text{mm}$ $z=128,37\text{mm}$ noktasındadır. Burada girdap eşdeğer eğrileri kırmızı renkle gösterilmiştir (Şekil 5.9c). Alt taraftaki girdap ise saatin tersi yönde dönmekte olup F_3 merkezinin koordinatları $x=105,53\text{mm}$ $z=98,42\text{mm}$ noktasındadır. Burada girdap eşdeğer eğrileri mavi renkle gösterilmiştir. Model arkasındaki girdap bölgesinin uzunluğu 49,01mm olarak belirlenmiştir. Şekil 5.9b’de zaman ortalama hız dağılımı , $\langle V \rangle$ benzer girdapları göstermektedir. Bina arkasında oluşan girdap boyutları hemen eşit olup durma noktası orta bölgede belirlenmiştir. Durma noktası S_1 $x=137,66\text{mm}$ ve $z=112,34\text{mm}$ noktalarında oluşmuştur.



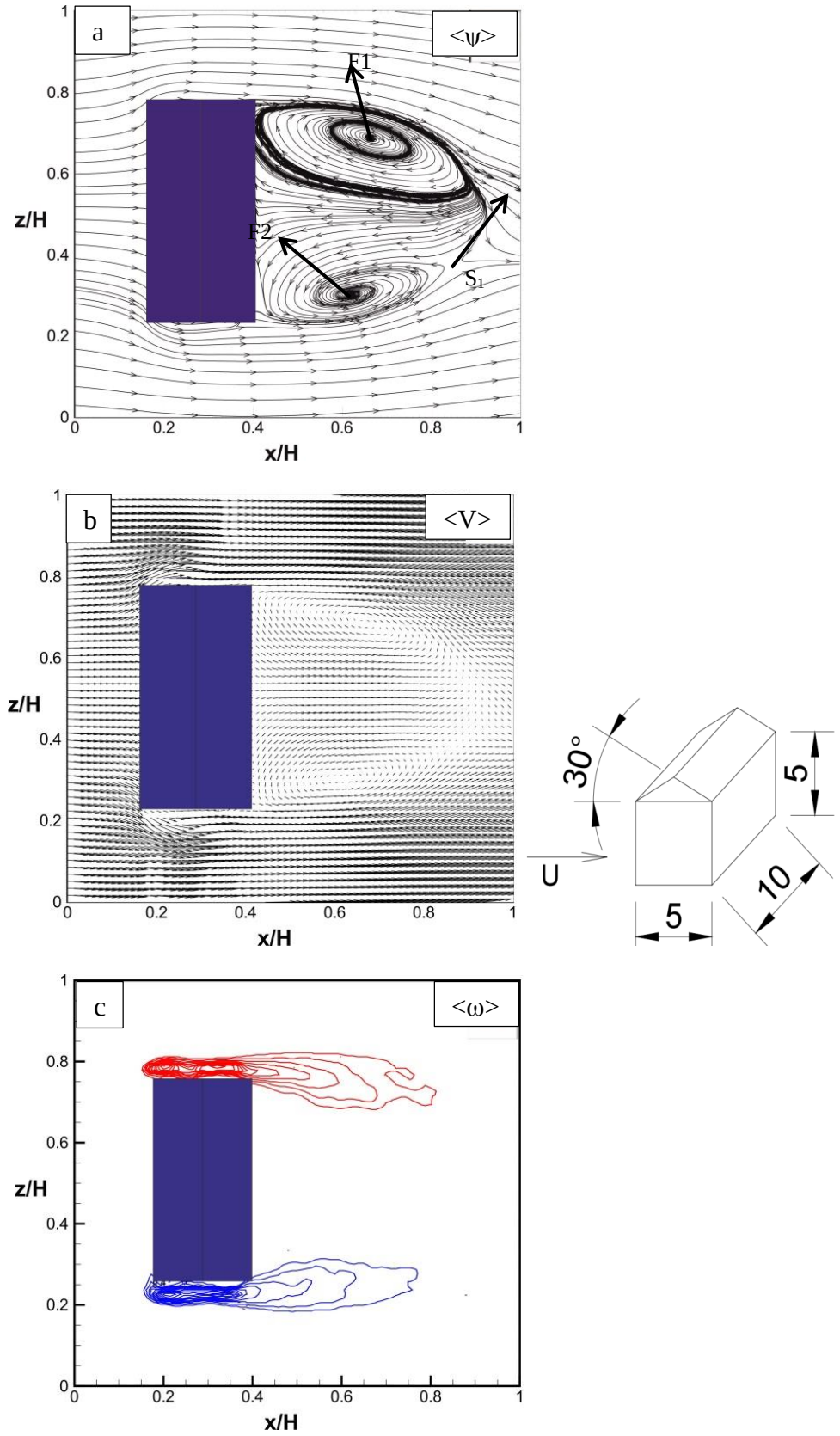
Şekil 5.9 Tek bina modeli için model B etrafındaki akış $y/h=1$ yüzeyindeki zaman ortalama a) akım çizgileri $\langle \psi \rangle$, b) hız dağılımı $\langle V \rangle$, c) girdap eşdeğer eğrileri $\langle \omega \rangle$, minimum ve girdap eşdeğer eğrileri artış değeri $\langle \omega_{\min} \rangle = \pm 4s^{-1}$ ve $\Delta \langle \omega \rangle = 2s^{-1}$

Şekil 5.10'da model boyutları 5cmx10cmx5cm olarak alınan kare kesitli 30° eğimli bina modeli çevresindeki akış yapısı $y/h=1$ simetri yüzeyi için incelenmiştir. Genel olarak akış yapıları, simetri yüzeyi $y/h=0,5$ 'de çatılı uzun modele (Şekil 5.5) benzer olmakla birlikte birtakım farklılıklar göze çarpmaktadır. Modelin ön bölgesinde oluşan durma noktasından S_{ab} itibaren yukarıya doğru ayrılan akış, model yan-sol köşesinden ayrılan akışın oluşturduğu girdap bölgesi F_1 merkezinin koordinatları $x=55,83\text{mm}$ ve $z=147,13\text{mm}$ noktasındadır. Ayrılma bölgesi, N_1 noktasına kadar uzanmakta olup, uzunluğu $X_R=35,45\text{mm}$ kalınlığı ise $13,612\text{mm}$ olarak ölçülmektedir. (Şekil 5.10a). Aşağıya doğru ayrılan akış model yan sağ köşesinden ayrılan akışın oluşturduğu girdap bölgesi F_2 merkezinin koordinatları $x=57,82\text{mm}$ ve $z=82,09\text{mm}$ noktasındadır. Ayrılma bölgesi, N_2 noktasına kadar uzanmakta olup, uzunluğu $X_R=32,76\text{mm}$ kalınlığı ise $12,7\text{mm}$ olarak ölçülmektedir. Bina arkasında oluşan girdap çiftinden üst tarafta konumlanmış ve saat yönünde dönen girdap daha büyük alan kaplamakta olup F_3 girdap merkezinin koordinatları $x=103,541\text{mm}$ $z=132,006\text{mm}$ noktasındadır. Burada girdap eşdeğer eğrileri kırmızı renkle gösterilmiştir (Şekil 5.10c). Alt taraftaki girdap ise saatin tersi yönde dönmekte olup F_4 merkezinin koordinatları $x=101,554\text{mm}$ $z=92,68\text{mm}$ noktasındadır. Girdap eşdeğer eğrileri kırmızı renkle gösterilmiştir (Şekil 5.10c). Model arkasındaki ayrılma bölgesinin uzunluğu $65,64\text{mm}$ olarak belirlenmiştir. Bina arkasında üst üste konumlanmış girdap büyüklükleri benzer olup, durma noktası orta noktada oluşmuştur. Durma noktası S_3 ise bina arkasından uzaklaşarak aşağıya doğru kaymakta olup koordinatları $x=150,249\text{mm}$ ve $z=107,80\text{mm}$ noktalarında belirlenmiştir.



Şekil 5.10 Tek bina modeli için model C etrafındaki akış $y/h=1$ yüzeyindeki zaman ortalama a) akım çizgileri $\langle \psi \rangle$, b) hız dağılımı $\langle V \rangle$, c) girdap eşdeğer eğrileri $\langle \omega \rangle$, minimum ve girdap eşdeğer eğrileri artış değeri $\langle \omega \rangle_{\min} = \pm 4s^{-1}$ ve $\Delta \langle \omega \rangle = 2s^{-1}$

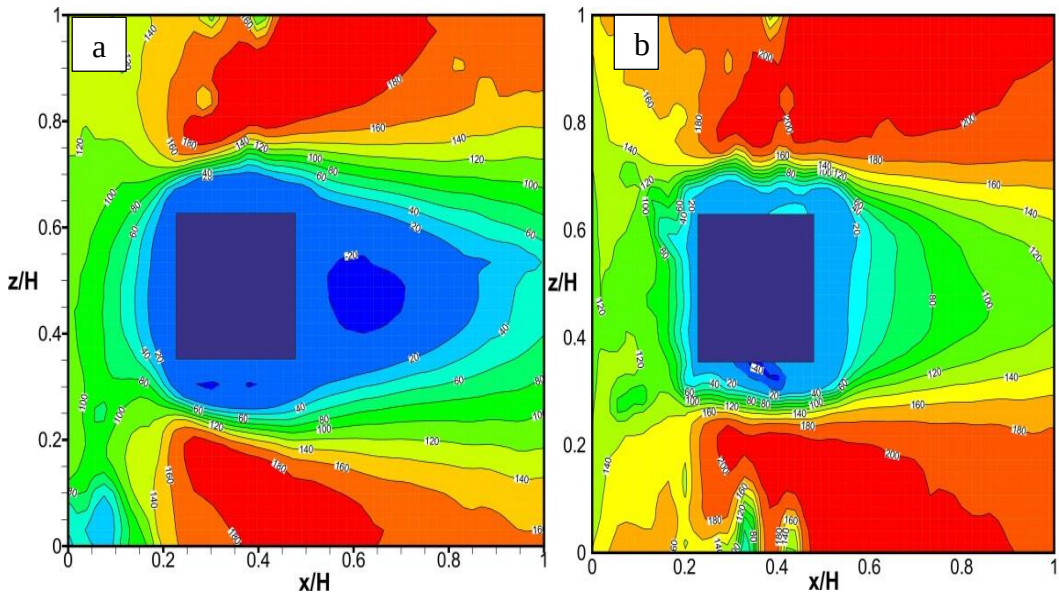
Şekil 5.11’de model boyutları 10cmx5cmx5cm olarak alınan kare kesitli 30° eğimli bina modeli çevresindeki akış yapısı $y/h=1$ simetri yüzeyinde incelenmiştir. Akış yapıları, çatısız modele göre (Model A) çok farklıdır. Bu modelde akış çatı bölgesinden alındığı için bina yan kısımlarında girdap bölgeleri oluşmamıştır. Modelin ön bölgesinde oluşan durma noktasından S_{ab} itibaren yukarı ayrılan akış, model yan-sol köşesinden akış ayrılmadan devam etmiştir. Bu yüzden bir girdap bölgesi oluşmamıştır. Aşağı ayrılan akışta model yan sağ köşesinden ayrılmadan devam ettiğinden bu bölgede de girdap bölgesi oluşmamıştır. Bina arkasında ise üst tarafta konumlanmış ve birbirine simetrik yapıda olmayan iki girdap bölgesi oluşturmuştur. Üst kısımdaki girdap saat yönünde dönmekte olup F_1 girdap merkezinin koordinatları $x=153,89\text{mm}$ $z=150,71\text{mm}$ noktasındadır. Burada girdap eşdeğer eğrileri kırmızı renkle gösterilmiştir (Şekil 5.11c). Bu girdap oldukça büyük oluşmakta olup uzunluğu 122,06mm ve kalınlığı 42,15mm olarak belirlenmiştir. Alt taraftaki girdap ise saatin tersi yönde dönmekte olup F_2 merkezinin koordinatları $x=145,42\text{mm}$ $z=78,32\text{mm}$ noktasındadır. Burada girdap eşdeğer eğrileri kırmızı renkle gösterilmiştir (Şekil 5.11c). Alt kısımda oluşan girdap üstteki girdaba göre daha daralarak uzunluğu kısalmış kalınlığı artmıştır. Bu bölgesinin uzunluğu 91,39mm ve kalınlığı 52,49mm olarak belirlenmiştir. Bina arkasında oluşan girdaplardan eşit boyutlarda oluşmamıştır. Üst bölgede oluşan girdap F_1 altta oluşan girdaba göre çok daha büyüktür. Durma noktası S_1 ise bina arkasından çok fazla uzaklaşarak aşağıya doğru kaymakta olup koordinatları $x=19,21\text{mm}$ ve $z=90,944\text{mm}$ noktalarında oluşmuştur.



Şekil 5.11 Tek bina modeli için model D etrafındaki akış, $y/h=1$ yüzeyindeki zaman ortalamama a) akım çizgileri $\langle \psi \rangle$, b) hız dağılımı $\langle V \rangle$, c) girdap eşdeğer eğrileri $\langle \omega \rangle$, minimum ve girdap eşdeğer eğrileri artış değeri $\langle \omega_{\min} \rangle = \pm 4 s^{-1}$ ve $\Delta \langle \omega \rangle = s^{-1}$

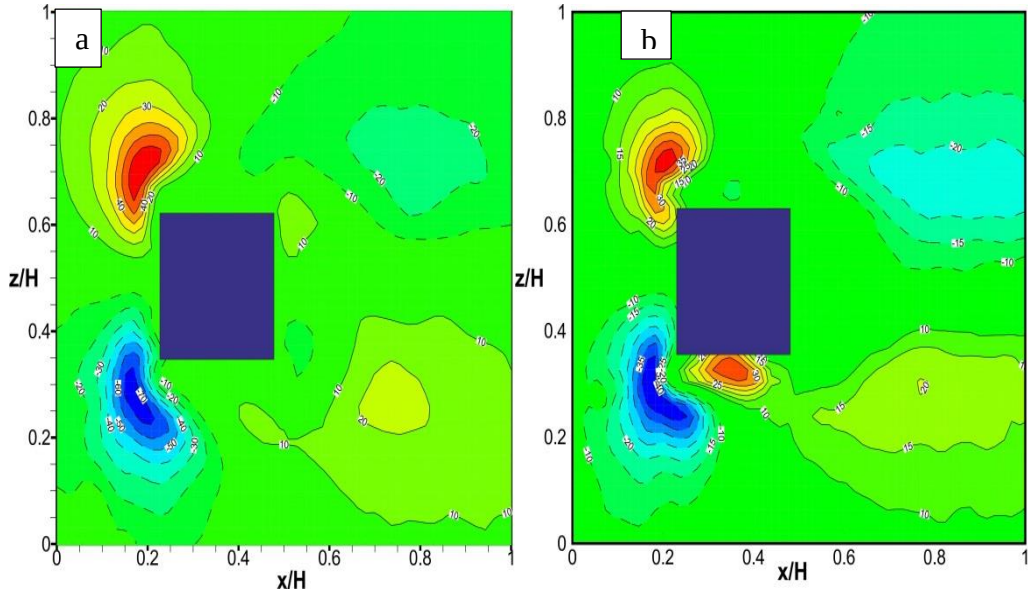
5.1.2.2 Ortalama Hızlar

Model bina çevrelerindeki x ve y yönündeki zaman ortalamalı $\langle u \rangle$ hız bileşeni dağıtımı, Şekil 5.12a ve Şekil 5.12b de gösterilmiştir. Şekil 5.12a'da bina arkasında bir ayrılmış akış bölgesi oluşmuştur. Oluşan bu ayrılmış akış bölgesi $x/H = 0.71$ noktasına kadar uzanmaktadır. Şekil 5.12b'de simetri yüzeyi $z/h=1$ için bina arka bölgesinde herhangi bir biçimde ayrılmış akış bölgesi elde edilmemiş olup, akış bina çatısından yüzeyden ayrılmadan hareket etmektedir. Bu nedenle bina yan ve arka bölgelerinde girdap oluşmamıştır. Bu nedenle, bina çevresinde u hız değerleri artmıştır.



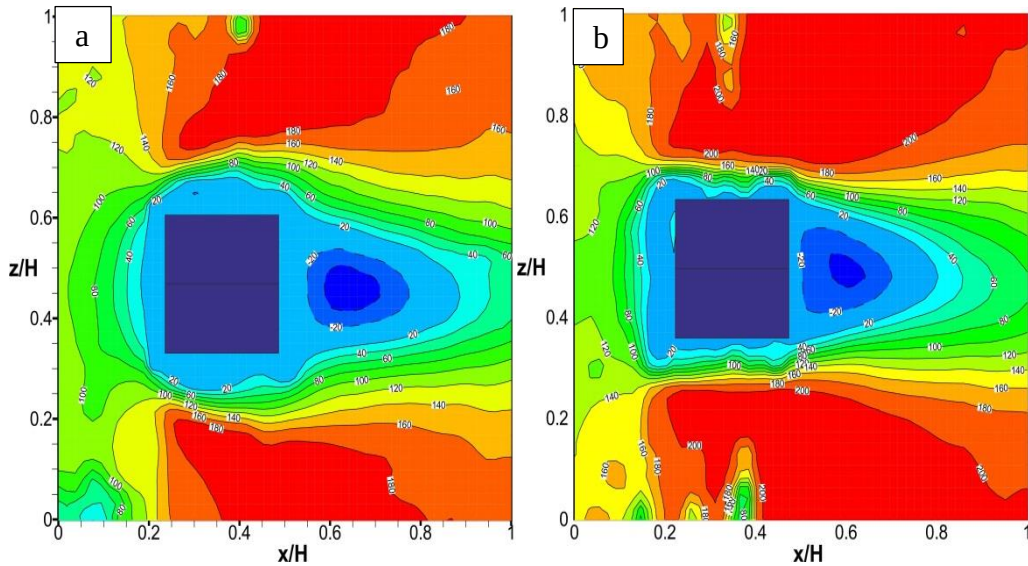
Şekil 5.12 Tek bina modeli için model A etrafındaki akış için zaman ortalamalı $\langle u \rangle$ hız bileşeni dağıtımı a) $y/h=0,5$ yüzeyi b) $y/h=1$ yüzeyi

Düşey yöndeki v hız bileşeni eğrileri incelendiğinde, düz çizgiler yukarı yönlü akış alanını, kesikli çizgiler ise aşağı yönlü akış alanını göstermektedir. Şekil 5.13a'da v hızı eğrileri simetrik bir görünüm göstermektedir. Bina ön kısmında özellikle, bina üst yan kısmına yukarı yönlü akış alanı hâkimdir. Bina alt yan kısmına ise aşağı yönlü akış hâkimdir. Aşağı yönlü akış daha yüksek enerjiye sahiptir. Bina üst arka kısmında aşağı akış alanı alt kısmında ise yukarı akış alanı mevcuttur. Şekil 5.13b'de bina ön kısmında $y/h=0,5$ simetri yüzeyindeki v hızı profiline benzer bir görüntü alınmış olup bina üst arka kısmında ileriye doğru kayan bir profil oluşmuştur. Bina arka alt kısmında ise tamamen farklı bir görüntü oluşarak bina yan yüzeyinde yukarı akış bölgesi oluşmuştur.



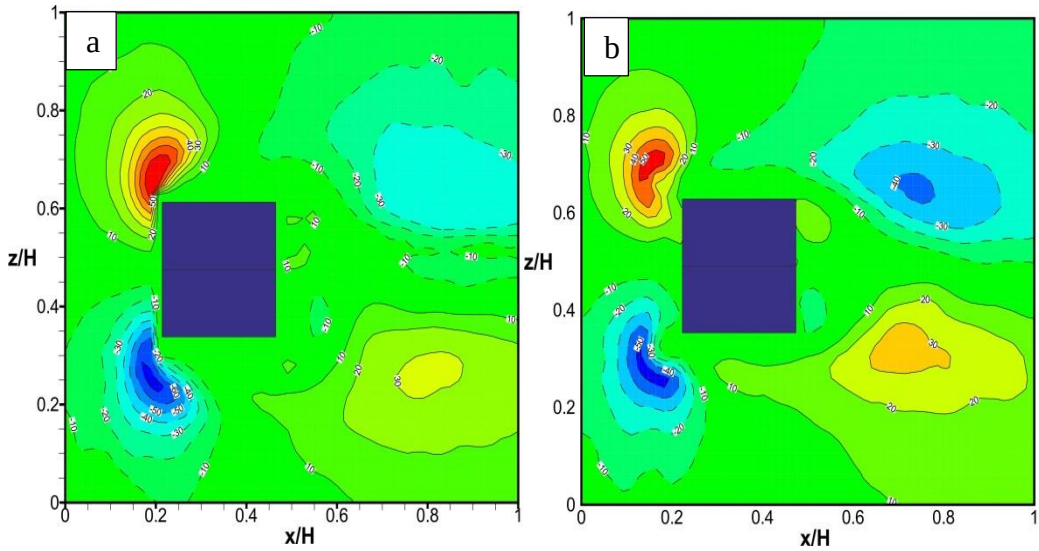
Şekil 5.13 Tek bina modeli için model A etrafındaki akış için zaman ortalama $\langle v \rangle$ hız bileşeni dağıtımı a) $y/h=0,5$ yüzeyi b) $y/h=1$ yüzeyi

Şekil 5.14a'da bina arkasında bir ayrılmış akış bölgesi oluşmuştur. Oluşan bu ayrılmış akış bölgesi $x/H = 0.75$ noktasına kadar uzanmaktadır. Şekil 5.12b'de simetri yüzeyi $z/h=1$ için bina yan yüzeylerinde herhangi bir biçimde ayrılmış akış elde edilmemiş olup, akış bina çatısından yüzeyden ayrılmadan hareket etmektedir. Bina arka bölgesinde ayrılmış akış bölgesi oluşmuştur.



Şekil 5.14 Tek bina modeli için model B etrafındaki akış için zaman ortalama $\langle u \rangle$ hız bileşeni dağıtımı a) $y/h=0,5$ yüzeyi b) $y/h=1$ yüzeyi

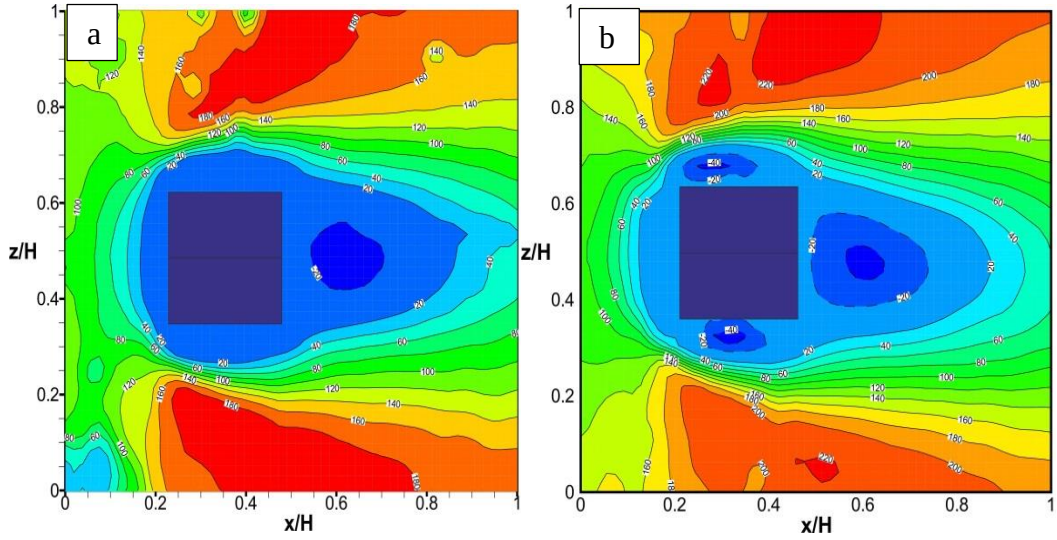
Şekil.5.15a'da $\langle v \rangle$ hızı bileşeni eğrileri simetrik bir görünüm göstermektedir. Bina ön kısmında özellikle bina üst yan kısmına yukarı yönlü akış alanı hâkimdir. Bina alt yan kısmına ise aşağı yönlü akış hâkimdir. Bina üst arka kısmında aşağı akış alanı alt kısmında ise yukarı akış alanı mevcuttur. Bina arka kısmındaki v hız profilleri geriye doğru genişleyerek ilerlemiştir. Şekil 5.15b'de bina ön kısmında $y/h=0,5$ simetri yüzeyindeki v hızı profiline benzer bir görüntü alınmıştır. Bina arka üst ve alt kısmında ileriye doğru kayan bir profil oluşmuştur. Bina arka alt kısmında ise tamamen farklı bir görüntü oluşarak bina yan yüzeyinde yukarı akış bölgesi oluşmuştur. $y/h=0,5$ simetri yüzeyindeki v hızı profiline göre bina arkasında oluşan bu hız profiller bina yan yüzeylerine doğru ilerlemiştir.



Şekil 5.15 Tek bina modeli için model B etrafındaki akış için zaman ortalama $\langle v \rangle$ hız bileşeni dağıtımı a) $y/h=0,5$ yüzeyi b) $y/h=1$ yüzeyi

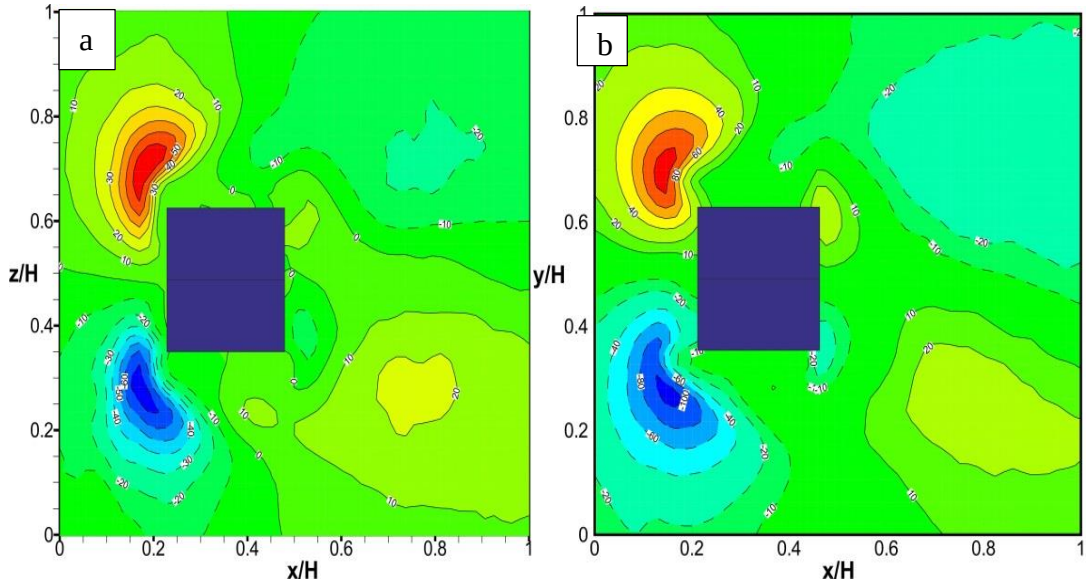
Şekil 5.16a'da bina arkasında bir ayrılmış akış bölgesi oluşmuştur. Oluşan bu ayrılmış akış bölgesi $x/H= 0.71$ noktasına kadar uzanmaktadır. Şekil5.16b'de simetri yüzeyi $z/h=1$ için bina yan yüzeylerinde ve bina arka yüzeyinde ayrılmış akış oluşmuştur. Bina çevresindeki u hız profillerinin değeri azalmıştır.

Şekil.5.17a'da $\langle v \rangle$ hızı bileşeni hemen hemen simetrik bir görünüm göstermektedir. Bina ön kısmında özellikle bina üst yan kısmına yukarı yönlü akış alanı hâkimdir. Bina alt yan kısmına ise aşağı yönlü akış hâkimdir. Bina üst arka kısmında aşağı akış alanı alt kısmında ise yukarı akış alanı mevcuttur. Arka kısmındaki v hız profillerinin simetrik yapıları bozulmuştur.



Şekil 5.16 Tek bina modeli için model C etrafındaki akış için zaman ortalama $\langle u \rangle$ hız bileşeni dağıtımı a) $y/h=0,5$ yüzeyi b) $y/h=1$ yüzeyi

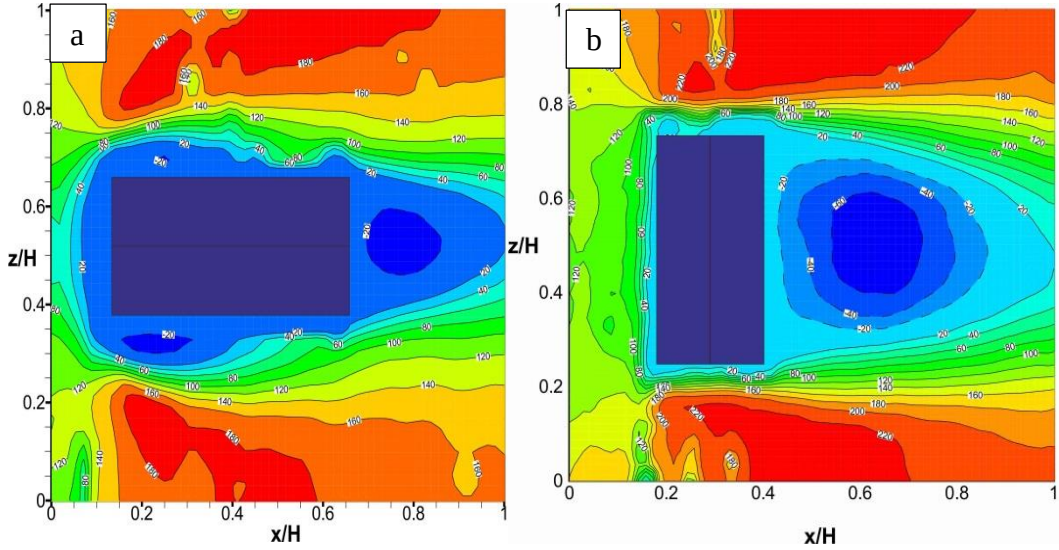
Şekil 5.17b’de bina ön kısmında $y/h=0,5$ simetri yüzeyindeki v hızı profiline benzer bir görüntü alınmıştır. Bina arka üst ve alt kısmında simetrik yapı oluşmamıştır. Bina arka alt kısmında profil ileriye doğru kaymıştır. Bina arkasında yukarı ve aşağı akış bölgeleri oluşmuştur. Yan yüzeyinde yukarı akış bölgesi oluşmuştur.



Şekil 5.17 Tek bina modeli için model A etrafındaki akış için zaman ortalama $\langle v \rangle$ hız bileşeni dağıtımı a) $y/h=0,5$ yüzeyi b) $y/h=1$ yüzeyi

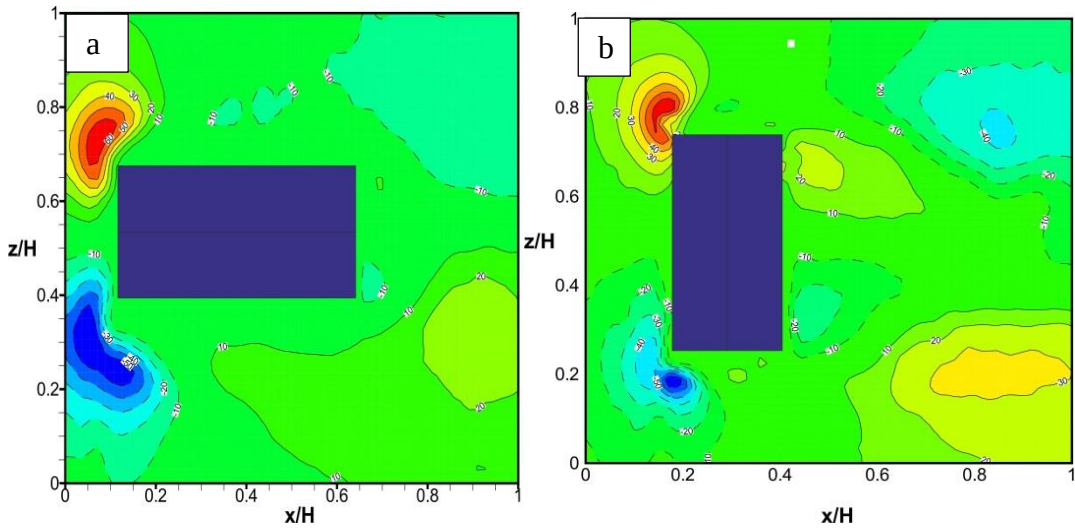
Model bina çevrelerindeki x ve y yönündeki ortalama eş hız eğrileri, Şekil 5.18a ve Şekil 5.18b de gösterilmiştir. Şekil 5.12a’da bina arkasında bir ayrılmış akış bölgesi

oluşturmuştur. Oluşan bu ayrılmış akış bölgesi $x/H = 0.78$ noktasına kadar uzanmaktadır. Şekil 5.18b’de simetri yüzeyi $z/h=1$ için bina yan yüzeylerinde akış ayrılma olmadan devam etmiş olup bina arka bölgesinde büyük bir ayrılmış akış bölgesi oluşmuştur. Oluşan bu ayrılmış akış bölgesi $x/H = 0.82$ noktasına kadar uzanmaktadır.



Şekil 5.18 Tek bina modeli için model D etrafındaki akış için zaman ortalama $\langle u \rangle$ hız bileşeni dağıtımı a) $y/h=0,5$ yüzeyi b) $y/h=1$ yüzeyi

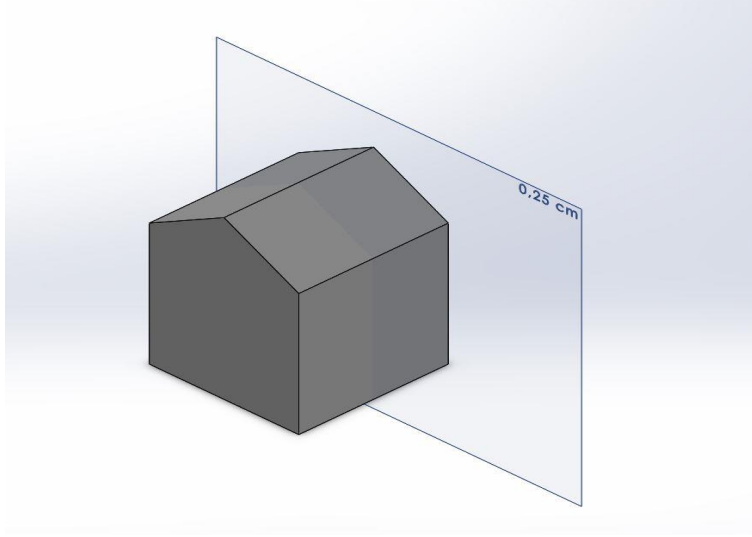
Şekil 5.19a’da bina arka kısmındaki $\langle v \rangle$ hız bileşeni profilleri bina yan yüzeyine geriye doğru genişleyerek ilerlemiştir. Şekil 5.15b’de bina ön kısmında $y/h=0,5$ simetri yüzeyindeki v hızı profiline benzer bir görüntü alınmıştır. Bina arka kısmında oluşan $\langle v \rangle$ hız profilleri büyüyerek arkadaki hız profillerinin küçülmesine sebep olmuştur.



Şekil 5.19 Tek bina modeli için model D etrafındaki akış için zaman ortalama $\langle v \rangle$ hız bileşeni dağıtımı a) $y/h=0,5$ yüzeyi b) $y/h=1$ yüzeyi

5.1.3 Tek Bina Modeli İçin Akış Yapısının Deneysel Yan Görünüş Ölçümleri

Bina modelleri etrafındaki akış yapısının, x-y düzlemlerindeki ölçümleri $z/h=0,5$ yüzeyinde gerçekleştirilmiştir (Şekil 5.20). Tek binada yandan görünüş için deney düzeneği üzerindeki görünüşü Şekil 5.21’de gösterilmiştir.



Şekil 5.20 Yandan görünüş ölçüm yüzeyleri



Şekil 5.21 Deney düzeneği içerisinde tek binanın yandan görünüşü

5.1.3.1 Genel Akış Yapısı

Bu bölümde model binaların yandan görüntüleri alınmıştır. Binaların ön ve üst ve arka kısımlarındaki akış yapıları zaman ortalamalı hız vektörleri $\langle V \rangle$ dağıtımı, akım çizgileri $\langle \psi \rangle$ ve girdap eşdeğer eğrileri $\langle \omega \rangle$ simetri yüzeyi $z/h=0,5$ için verilmiştir.

Şekil 5.22’de model boyutları 5cmx5cmx5cm olarak alınan kare kesit alanına sahip çatısız bina modeli çevresinde akış yapısı incelenmiştir. Şekil 5.22a’da modelin ön bölgesinde oluşan S_{ab} durma noktasından itibaren akış, yukarı ve aşağı yönlü olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Yukarıya doğru ayrılan akışta, model ön-üst köşesinden ayrılarak çatı üzerinde bir F_1 girdap bölgesi oluşturmaktadır. Burada oluşan girdabın merkezinin koordinatları $x= 38,92\text{mm}$ ve $y= 56,36\text{mm}$ olarak belirlenmiştir.

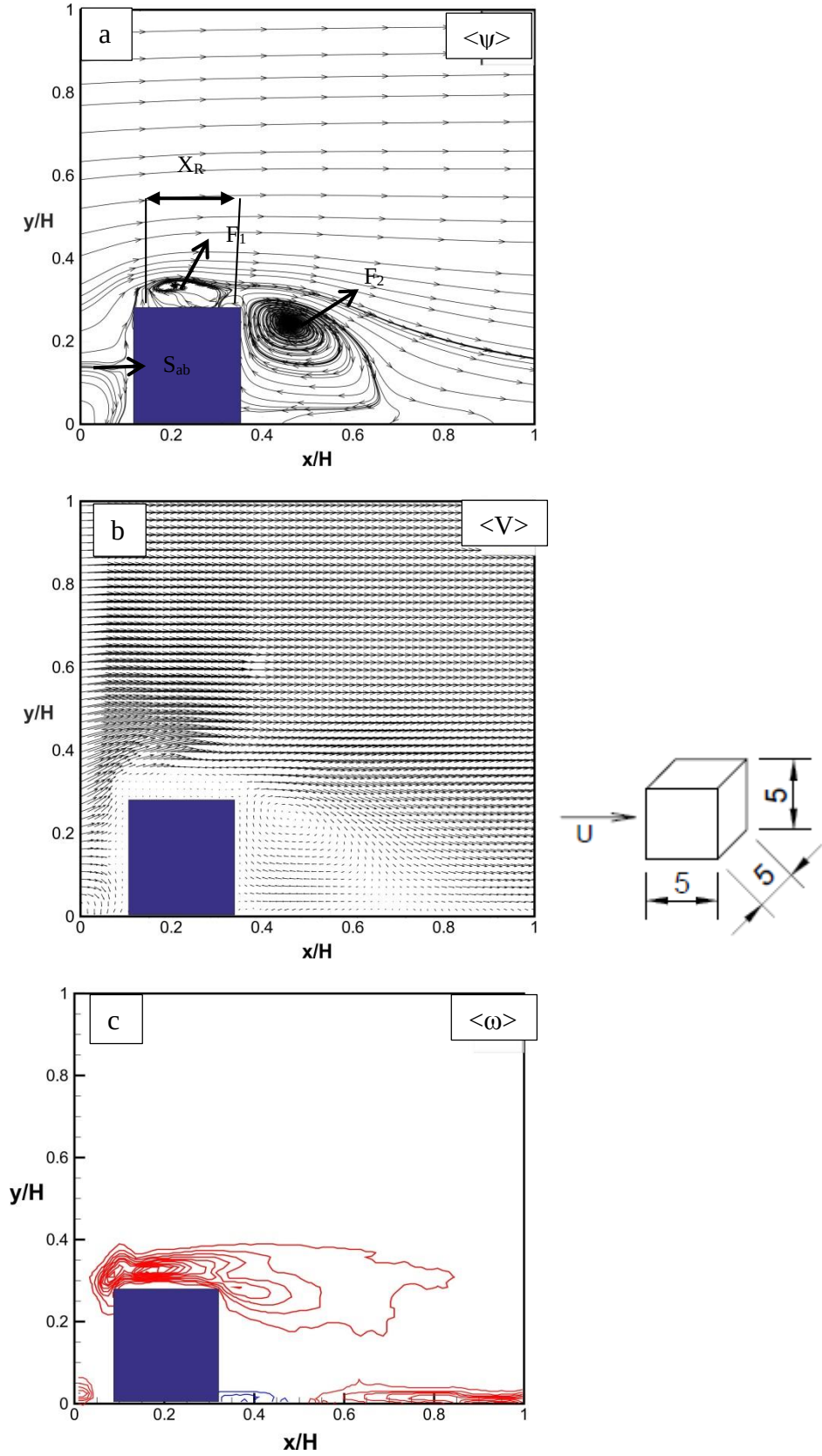
Binanın ön bölgesinde oluşan bu tür akış bölgelerinin gürültü oluşumu, su ve toz birikimi gibi olumsuz etkileri bulunmaktadır (Hucho, 1998). Model çatısındaki ayrılma bölgesi, N_1 noktasına kadar uzanmakta olup, uzunluğu $X_R=52\text{ mm}$, kalınlığı ise $6,5\text{mm}$ olarak ölçülmektedir. Bina üst yüzeyinde oluşan bu akış ayrılmasının yüzeyden ayrılma noktasındaki kinetik enerjinin basınç enerjisine göre düşük yoğunlukta olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Bina çatısının arka kısmında akış, yüzeyin üst tarafından itibaren ayrılmadan hareketine devam etmektedir. Model arka bölgesinde, model yüzeyinden ayrılan kayma tabakaları nedeniyle girdap F_2 oluşturmaktadır. Oluşan bu girdabın merkezinin koordinatları $x=91,98\text{mm}$ $y=41,50\text{mm}$ olmakla birlikte uzunluğu $X=43,03$ kalınlığı ise $44,55\text{mm}$ ’dır. Şekil 5.18’de ölçüm sonucu elde edilen $7326(99 \times 74)$ adet vektör gösterilmiştir. Zaman ortalamalı hız alanları $\langle V \rangle$ bina yakınlarında hız vektörlerinde azalma olduğu ve hız vektör uzunluklarında azalması nedeniyle, bu bölgelerde hızlar azalmıştır. Bina çevresinden uzaklaştıkça hız vektörlerinin bulunduğu alanların arttığı ve hız vektör uzunluklarının artması sebebiyle hız değerleri artmıştır. Özellikle bina üzerinde oluşan girdap üst bitim noktalarında hızın yükseldiği bölgeleri görebiliriz. Şekil 5.22c’de girdap eşdeğer eğrileri gösterilmiştir. Girdap eşdeğer eğrileri minimum $\langle \omega_{\min} \rangle = \pm 2\text{s}^{-1}$ ve girdap eşdeğer eğrileri artış değeri $\langle w \rangle = 2\text{s}^{-1}$ olarak tespit edilmiştir. Girdap eş değeri eğrilerinin negatif değerinin daha yüksek olmasının nedeni bu bölgede hız değişiminin yüksek olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

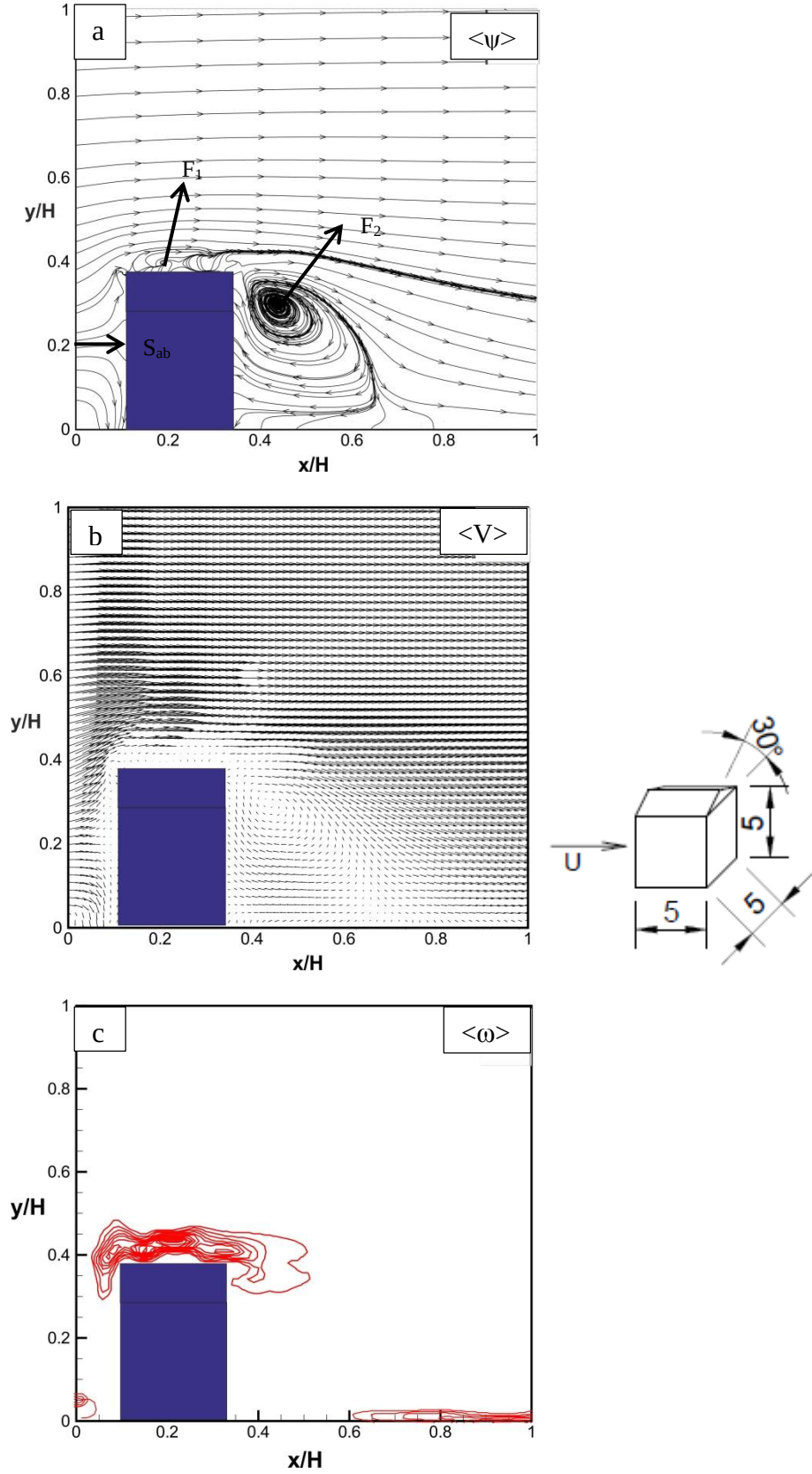
Şekil 5.23’de model boyutları 5cmx5cmx5cm olan 30° eğime çatıya sahip bina modeli çevresinde akış yapısı incelenmiştir. Şekil a’da modelin ön bölgesinde oluşan S_{ab} durma noktasından itibaren akış, yukarı ve aşağı yönlü olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Yukarıya doğru ayrılan akış, model çatı üzerinde küçük döngüler oluşturmuştur. Binanın arka bölgesinde daha alt kısımlardan başlayan bir ayrılmış

akış oluşturarak bina arkasında F_1 girdabı oluşturmuştur. Uzunluğu $X_R=52,97\text{mm}$, kalınlığı ise $73,55\text{mm}$ olarak ölçülmektedir. Şekil 5.23b'de zaman ortalamalı hız vektörlerinin $\langle V \rangle$ dağılımı da benzer girdapları göstermektedir. Şekil 5.23c'de eş yüzey eğrileri gösterilmiştir. Girdap eşdeğer eğrileri minimum $\langle \omega_{\min} \rangle = \pm 4\text{s}^{-1}$ ve girdap eşdeğer eğrileri artış değeri $\langle w \rangle = 2\text{s}^{-1}$ olarak tespit edilmiştir. Girdap eşdeğer eğrilerinin negatif değerinin daha yüksek olmasının nedeni bu bölgede hız değişiminin yüksek olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

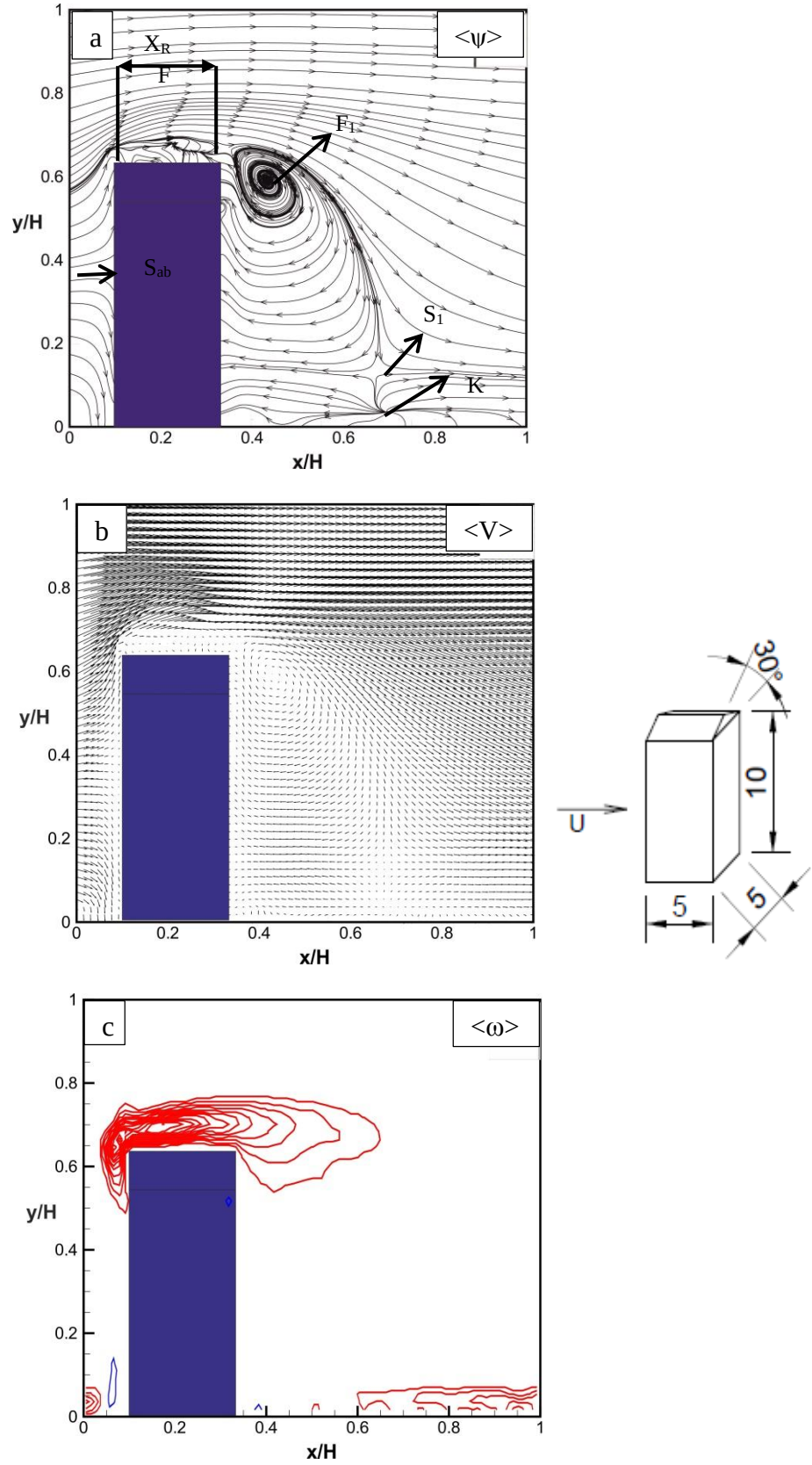
Şekil 5.24'de model boyutları $5\text{cm} \times 10\text{cm} \times 5\text{cm}$ olan 30° eğime sahip bir çatıya sahip bina modeli çevresinde akış yapısı incelenmiştir. Şekil 5.24a'da modelin ön bölgesinde oluşan S_{ab} durma noktasından itibaren akış, yukarı ve aşağı yönlü olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Bu bina modelinde S_{ab} durma noktasının bina merkezinden daha üst kısımda olduğu görülmüştür. Yukarıya doğru ayrılan akış, model çatı üzerinde küçük döngüler oluşturmuştur. Binanın arka bölgesinde daha üst kısımlardan başlayan bir ayrılmış akış oluşturarak bina arkasında F_1 girdabı oluşturmuştur. F_1 girdabının merkezinin koordinatları $x=87,48\text{mm}$ $y=101,84\text{mm}$ girdap uzunluğu $X_R=56,83\text{mm}$ kalınlığı ise $90,07\text{mm}$ olarak ölçülmektedir. Bina yüksekliği fazla olduğu için girdap S_1 noktasına kadar ilerlemiş burada S_1 durma noktası (saddle point) oluşturmuştur. Durma noktası $x=134,94\text{mm}$ $y=23,93\text{mm}$ koordinatlarında oluşmuştur. Akış bu noktadan itibaren dağılmış ve bu noktada kaynak diye adlandırılan bir bölge oluşturmuş ve akışı dağıtmıştır. Bu K kaynak noktası koordinatları da $x=135,49\text{mm}$ $y=46,3765\text{mm}$ olarak belirlenmiştir. Şekil 5.24b'de zaman ortalamalı hız alanları $\langle V \rangle$ bina yakınlarında hız vektörlerinde azalma olduğu ve hız vektör uzunluklarında azalması nedeniyle, bu bölgelerde hızlar azalmıştır. Bina çevresinden uzaklaştıkça hız vektörlerinin bulunduğu alanların arttığı ve hız vektör uzunluklarının artması sebebiyle hız değerleri artmıştır. Şekil 5.24c'de eş yüzey eğrileri gösterilmiştir. Girdap eşdeğer eğrileri minimum $\langle \omega_{\min} \rangle = \pm 4\text{s}^{-1}$ ve girdap eşdeğer eğrileri artış değeri $\langle w \rangle = 2\text{s}^{-1}$ olarak tespit edilmiştir.



Şekil 5.22 Tek bina modeli için model A etrafındaki akış $z/h=0,5$ yüzeyindeki zaman ortalama a) akım çizgileri $\langle \psi \rangle$, b) hız dağılımı $\langle V \rangle$, c) girdap eşdeğer eğrileri $\langle \omega \rangle$, minimum ve girdap eşdeğer eğrileri artış değeri $\langle \omega_{\min} \rangle = \pm 2s^{-1}$ ve $\Delta \langle \omega \rangle = 2s^{-1}$



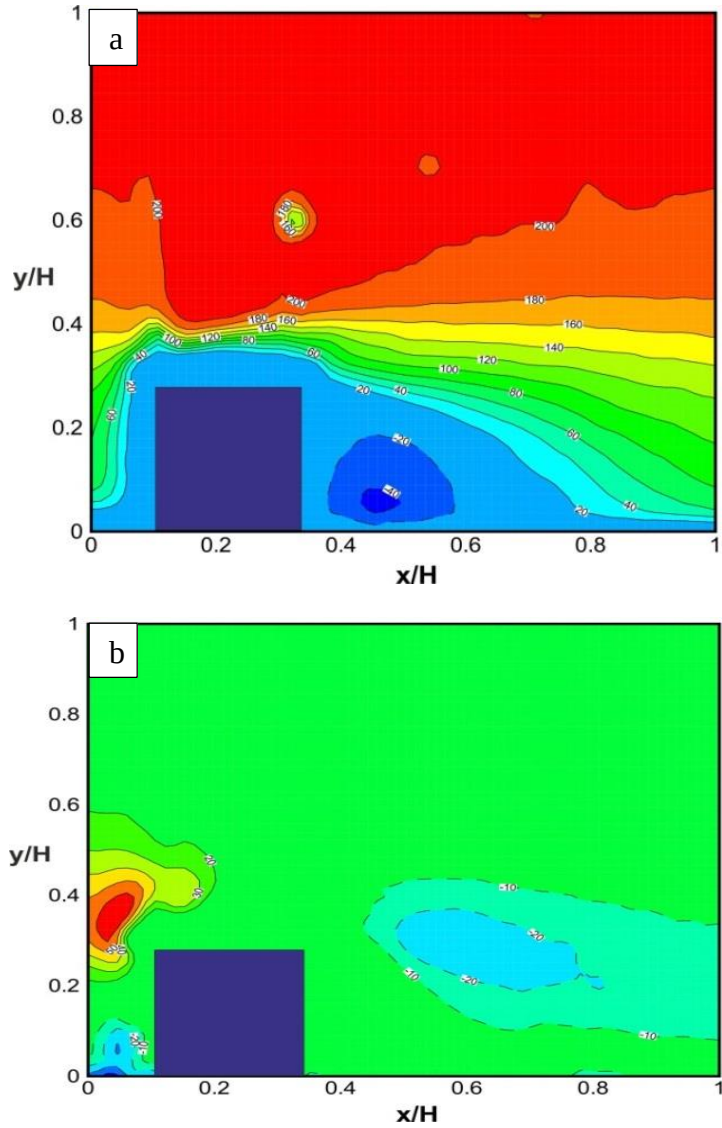
Şekil 5.23 Tek bina modeli için model B etrafındaki akış $z/h=0,5$ yüzeyindeki zaman ortalama a) akım çizgileri $\langle \psi \rangle$, b) hız dağılımı $\langle V \rangle$, c) girdap eşdeğer eğrileri $\langle \omega \rangle$, minimum ve girdap eşdeğer eğrileri artış değeri $\langle \omega_{\min} \rangle = \pm 4s^{-1}$ ve $\Delta \langle \omega \rangle = 2s^{-1}$



Şekil 5.24 Tek bina modeli için model C etrafındaki akış $z/h=0,5$ yüzeyindeki zaman ortalama a) akım çizgileri $\langle \psi \rangle$, b) hız dağılımı $\langle V \rangle$, c) girdap eşdeğer $\langle \omega \rangle$, minimum ve girdap eşdeğer eğrileri artış değeri $\langle \omega_{min} \rangle = \pm 4 s^{-1}$ ve $\Delta \langle \omega \rangle = 2 s^{-1}$

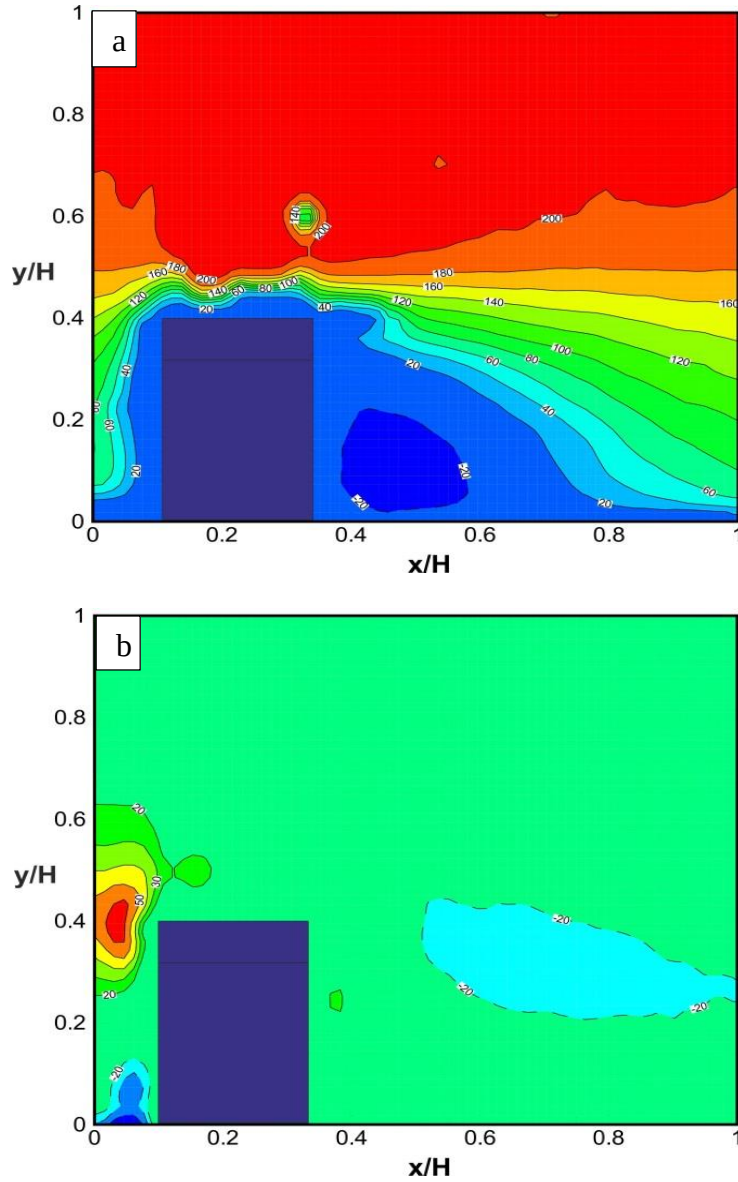
5.1.3.2 Ortalama Hızlar

Tek bina modelleri için $z/h = 0,5$ simetri yüzeyi için x ve y yönündeki zaman ortalama hız bileşenleri $\langle u \rangle$ ve $\langle v \rangle$ dağılımları, Şekil 5.25a ve Şekil 5.25b de gösterilmiştir. Şekil 5.25a'da çatısız bina modeli (model A) arkasında bir ters akış bölgesi oluşmuştur. Oluşan bu ayrılmış akış akış bölgesi $x/H = 0.58$ noktasına kadar uzanmaktadır. Şekil 5.25b'de bina ön üst ve alt bölgeleri ile bina arka bölgesinde hız profilleri oluşmuştur. Bina ön üst bölgesinde yukarı akış bölgesi oluşmuş olup alt kısmında ise aşağı akış oluşmuştur. Bina arka bölgesinin gerisinde bir aşağı akış alanı oluşmuştur.



Şekil 5.25 Tek bina modeli için model A etrafındaki akış için $z/h=0,5$ simetri yüzeyi zaman ortalama a) $\langle u \rangle$ hız bileşeni dağılımı b) $\langle v \rangle$ hız bileşeni dağılımı

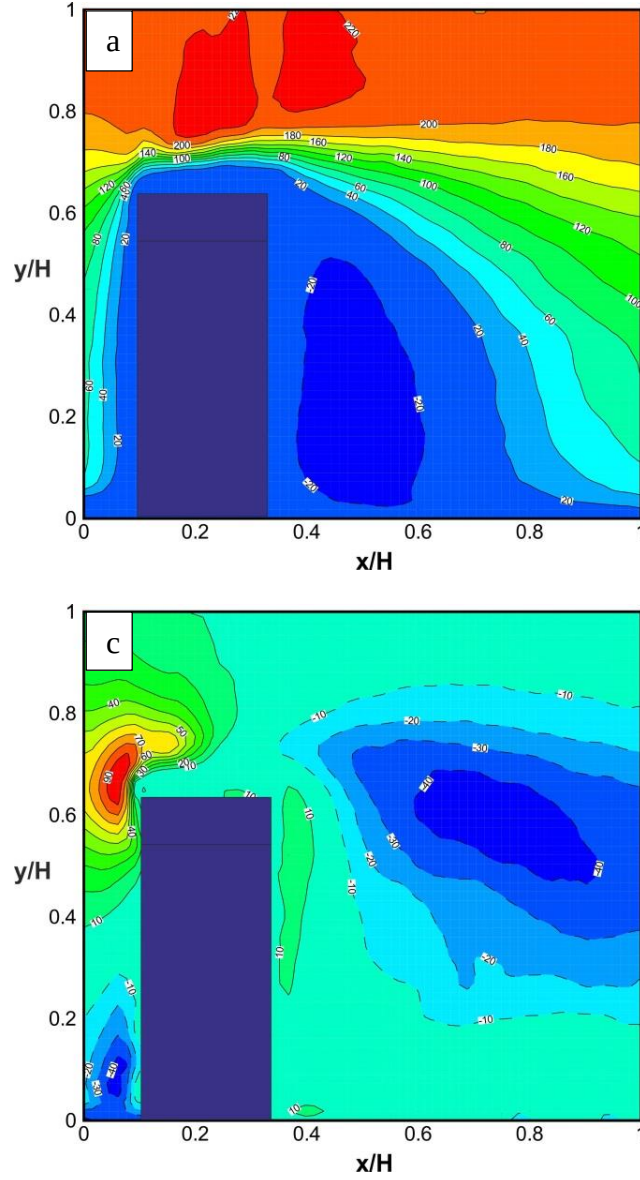
Şekil 5.26a'da çatılı kısa bina (model B) arkasında bir ters akış bölgesi oluşmuştur. Oluşan bu ayrılmış akış bölgesi $x/H = 0.57$ noktasına kadar uzanmaktadır. Şekil 5.26b'de bina ön üst ve alt bölgeleri ile bina arka bölgesinde hız profilleri oluşmuştur. Bina ön üst bölgesinde yukarı akış bölgesi oluşmuş olup alt kısmında ise aşağı akış oluşmuştur. Bina arka bölgesinin gerisinde bir aşağı akış alanı oluşmuştur.



Şekil 5.26 Tek bina modeli için model B etrafındaki akış için $z/h=0,5$ simetri yüzeyi zaman ortalama a) $\langle u \rangle$ hız bileşeni dağılımı b) $\langle v \rangle$ hız bileşeni dağılımı

Şekil 5.27a'de çatılı uzun bina modeli (model B) arkasında bir ayrılmış akış bölgesi oluşmuştur. Oluşan bu ayrılmış akış bölgesi $x/H = 0.58$ noktasına kadar uzanmakta olup kalınlığı artmıştır. Şekil 5.27b'de bina ön üst ve alt bölgeleri ile bina arka

bölgesinde hız profilleri oluşmuştur. Bina ön üst bölgesinde yukarı akış bölgesi oluşmuş olup alt kısmında ise aşağı akış oluşmuştur. Bina arka bölgesinin gerisinde aşağı akış alanı genişlemiştir. Bina yüksekliği boyunca ilerlemiştir.



Şekil 5.27 Tek bina modeli için model C etrafındaki akış için $z/h=0,5$ simetri yüzeyi zaman ortalama a) $\langle u \rangle$ hız bileşeni dağılımı b) $\langle v \rangle$ hız bileşeni dağılımı

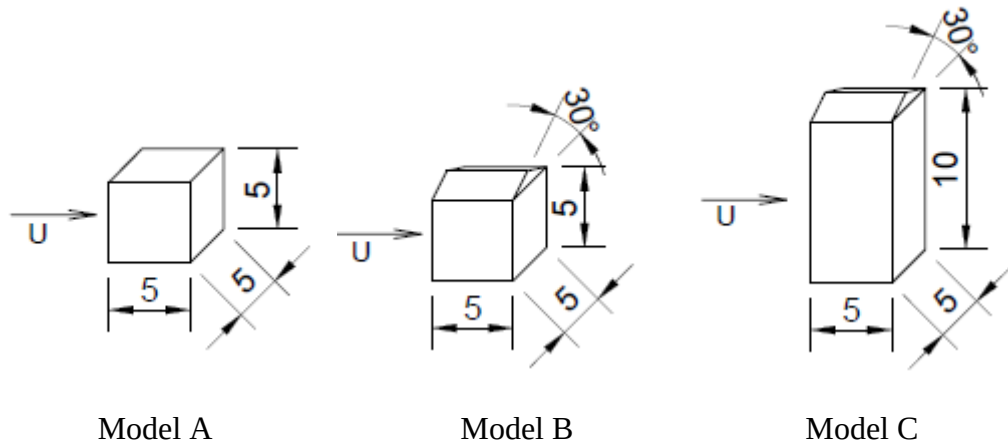
5.2 Tek Bina Modeli Etrafındaki Akış Yapısının Sayısal Olarak İncelenmesi

5.2.1 Giriş

Günümüzde uygulamada karşılaşılan birçok mühendislik problemi mühendislik yazılımlarının yardımıyla çözülebilmektedir. Bu tür yazılımlar deneysel olarak verilerin elde edilmesinin zor olduğu veya ekonomik olmadığı durumlarda kullanılmaktadır. Ayrıca bu yazılımlarda verilerin elde edilebilmesindeki esneklikte önemli bir avantaj olarak karşımıza çıkmaktadır.

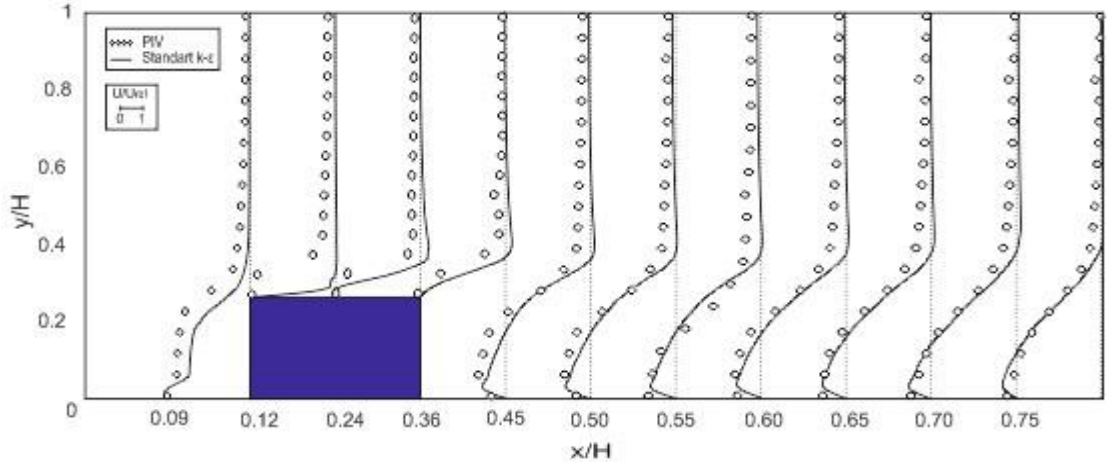
Bu bölümde bir önceki kısımda PIV deneysel ölçüm yöntemiyle elde edilen akış yapılarının sayısal olarak karşılaştırılması amaçlanmıştır. Sayısal analizler, akışkanlar mekaniği problemlerinin çözümlerinde geçerliliği yaygın olarak kabul gören ANSYS Fluent yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Sayısal modeller, deneysel ortam şartları kullanılarak oluşturulmuştur. Tek modeller etrafındaki üç boyutlu ayrıntılı akış yapıları, akış hızının 0,193mm olması durumu için elde edilmiştir. Türbülans modeli olarak, aerodinamik problemlerde sıkça kullanılan k- ϵ türbülans modeli kullanılmıştır.

Çalışmada bina modelleri etrafındaki akış yapısının, x-y düzlemlerindeki ölçümleri $z/h=0,5$ yüzeyinde olduğu durum için gerçekleştirilmiştir (Şekil 5.20). Ağ yapısı olarak piramit elemanlardan oluşan ve yapısal olmayan ağ yapısı kullanılarak (Şekil 3.23) ve model bina çevresi hacim bölgelerinde, yoğun ağ parametreleri kullanılarak daha sık bir ağ yapısı oluşturulmuştur. Deneysel çalışmalarında kullanılan deney düzeneğinde bina modelleri kanal içerisine yerleştirilen bir sehpa üzerine yerleştirilen şekil 3.10’da görülen bir tabla üzerinde durmaktadır. Fakat sayısal analiz için bu model oluşturulamamıştır. Sayısal analizde akış şekil 3.22’de gösterildiği gibi verilmiştir. Sınır koşulları deneysel düzeneğe uygun olarak verilmiştir. Sayısal çalışmada deneysel çalışmaya uygun olması açısından akışkan olarak su kullanılmıştır. Yandan görünüş açısından özellikle binanın ön, üst ve arka kısmında oluşan akış yapılarının incelenmesi kapsamında sayısal sonuçların deneysel sonuçlarla karşılaştırılması amaçlanmıştır. Şekil 5.28 ‘de gösterilen model A, model B ve model C için sayısal analiz yapılmıştır.



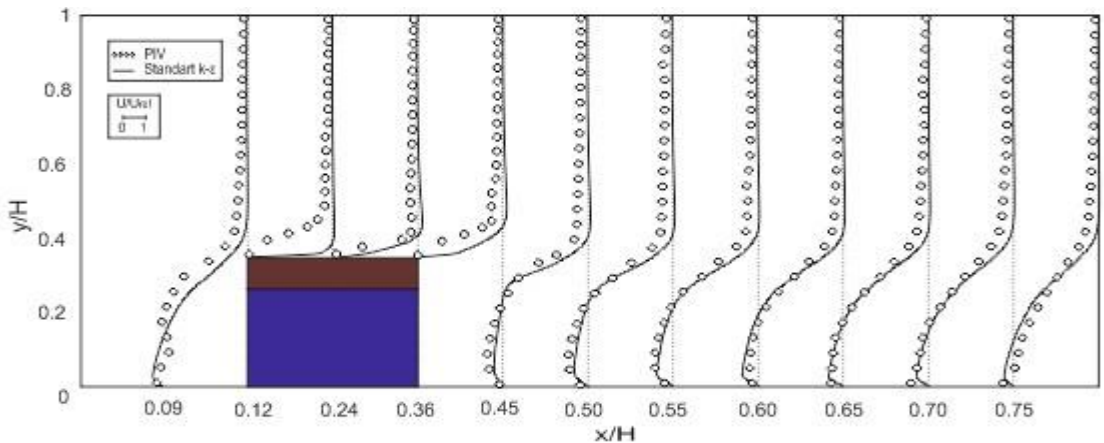
Şekil 5.28 Sayısal çalışmada kullanılan bina modelleri

Şekil 5.29’ da çatısız bina modeli (model A) için bina ön, üst ve özellikle de arka bölgelerinde oluşan akış yapısını incelemek açısından; zaman ortalama $\langle u \rangle$ hız bileşeninin kanal yüksekliğine göre değişimi binanın belli bölgeleri için boyutsuz olarak deneysel ve sayısal olarak karşılaştırılmıştır. Grafikler tek bina modelleri için $z/h = 0,5$ simetri yüzeyi için çizilmiştir. Grafikler incelendiğinde deneysel ve sayısal sonuçlar arasında bazı bölgelerde %3 farklılık olduğu görülmüştür. Bu farklılıkların özellikle bina üst çatı kısımlarında olduğu, bina ön ve arka kısımlarında farklılığın çok az olduğu görülmektedir. Bu farklılığın sebebinin özellikle bina üst kısımlarında akışın sürekli değişkenlik arz etmesi ve sayısal ile deneysel düzeneklerin tamamen aynı koşullarda oluşturulamamasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Sayısal çözümlemede bina çevresinde yoğun mesh yapılmış olmakla birlikte, yetersiz olduğu görülmüştür. Grafiklerde bina arka bölgeleri özellikle girdap oluşumu hakkında fikir vermektedir. Bina arka bölgelerinde ayrılmış akış bölgeleri açıkça görülmektedir. Ayrılmış akış $z/H = 0.45$ profilinden başlayarak $z/H = 0.75$ profiline azalarak kadar devam etmektedir. $z/h = 0.09$ profili ise parabolik bir değişim göstermektedir. Grafik üzerinde gösterilen bina skalasız çizilmiştir.



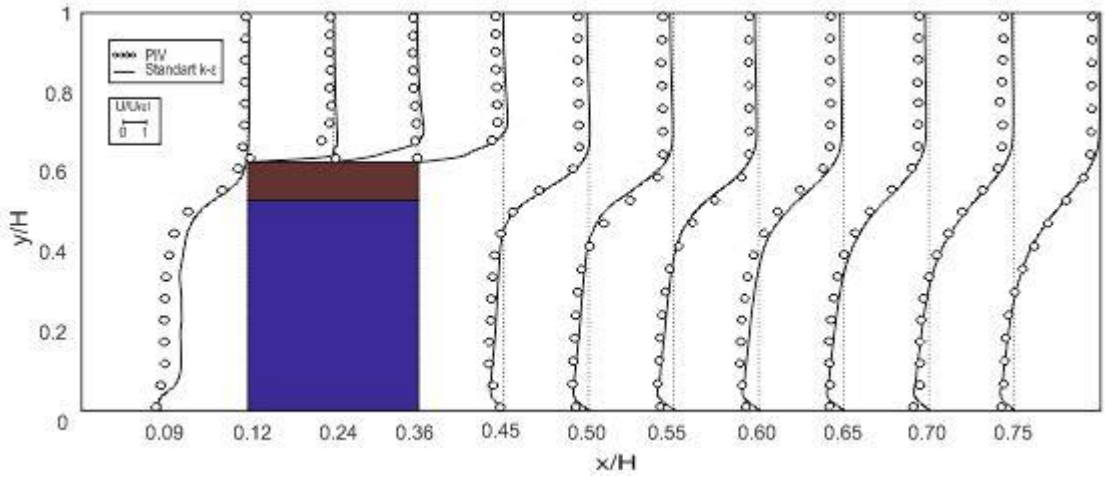
Şekil 5.29 Tek bina modeli için model A için $z/h=0,5$ simetri yüzeyinde $\frac{u}{U_{\infty}}$ hız profilleri

Şekil 5.30’ da çatılı kısa bina modeli (model B) için bina ön, üst ve özellikle de arka bölgelerinde oluşan akış yapısını incelemek açısından zaman ortalama $\langle u \rangle$ hız bileşeninin kanal yüksekliğine göre değişimi binanın belli bölgeleri için boyutsuz olarak deneysel ve sayısal olarak incelenmiştir. Grafikler incelendiğinde deneysel ve sayısal sonuçlar arasında bazı bölgelerde %3 farklılık olduğu görülmüştür. Bu modeldeki hız profilleri incelendiğinde Şekil 5.29’da verilen model A hız profillerine benzerlik gösterdiği bazı bölgelerde aynı eğilime sahip olduğu görülmektedir. Model B de bina arka bölgesinde oluşan hız profillerinin değiştiği görülmektedir. Bu da çatı olması durumunda bina arkasında oluşan girdabın büyüdüğünü göstermektedir. $z/H=0.09$ profili parabolik bir değişim göstermektedir. $z/H=0.45$ profilinden başlayarak ters akış oluşmuş $z/H=0.75$ profiline kadar azalarak devam etmiştir.



Şekil 5.30 Tek bina modeli için model B için $z/h=0,5$ simetri yüzeyinde $\frac{u}{U_{\infty}}$ hız profilleri

Şekil 5.31’de çatılı uzun bina modeli (model C) için bina ön, üst ve özellikle de arka bölgelerinde oluşan akış yapısını incelemek açısından zaman ortalama $\langle u \rangle$ hız bileşeninin kanal yüksekliğine göre değişimi binanın belli bölgeleri için boyutsuz olarak deneysel ve sayısal olarak incelenmiştir. Grafikler incelendiğinde deneysel ve sayısal sonuçlar arasında bazı bölgelerde %2 farklılık olduğu görülmüştür. Bu model de bina üst bölgelerinde farklılık oluşmuş olmakla birlikte diğer bina modellerine göre farklılığın azaldığı görülmüştür. Bina arkasında model B de bina arka bölgesinde oluşan hız profillerine benzer hız profillerinin oluştuğu görülmektedir. Bina arka bölgesinde ayrılmış akış profilleri görülmektedir.



Şekil 5.31 Tek bina modeli için model C için $z/h=0,5$ simetri yüzeyinde $\frac{u}{U_\infty}$ hız profilleri

6. İKİLİ OLARAK YERLEŞTİRİLMİŞ BİNA MODELLERİ ETRAFINDAKİ AKIŞ YAPISININ DENEYSEL ve SAYISAL OLARAK İNCELENMESİ

6.1 İkili Olarak Yerleştirilmiş Bina Modeller Etrafındaki Akış Yapısının Deneysel Olarak İncelenmesi

6.1.1 Giriş

Bina ve yakın çevresi arasındaki rüzgâr etkileşiminden doğan ayrılma bölgeleri, bina ile etkileşimli çoklu girdap sistemlerinin, binalar üzerine etkiyen rüzgâr kuvvetlerinin belirlenmesinde ve uygun tasarım parametrelerinin göz önüne alınması için büyük önem arz etmektedir.(Park, 2004) Bina üzerindeki akış yapısı, bina içine ve etrafına hava kirleticilerinin yayılmasında birinci derece etkindir. Bu etkilerin bulunabilmesi açısından, bina dışındaki hava hareketlerinin tespit edilmesi gerekmektedir. Binanın önünde görülen akış girdap hareketleri, zemin seviyesindeki toz, toprak, yaprak, yağmur ve kar gibi tanecikleri yer seviyesinden yükselterek ortama karışmasına neden olmaktadır.(Park, 2004) Bu nedenlerden dolayı bina üzerindeki akış yapısının ve fiziğinin bilinmesi hem tasarım hem de teknik problemlerin çözülmesi açısından katkı sağlamaktadır. Düzlem yüzey boyunca meydana gelen sınır tabaka akışının kare bir yapı ile karşılaşması neticesinde bina modeli ön yüzeyi ile düzlem yüzeyin birleşme bölgelerinde özellikle ters akış yapıları oluşmaktadır (Kline, 1990). Bazı araştırmacılar, bu tip akışlar için aynı zamanlarda ve aynı bölgede çeşitli boyutlarda oluşan bu ters akış yapıların bir konumdan diğerine hareket ettiğini ve sündüğünü belirtmişlerdir. Bu girdap elemanlarının, kütlelerinin ve açısal momentumunun sabit kalması şartıyla sünmesi ile, boyunun uzayacağı ve çapının küçüleceği, bununla beraber açısal hızının ve kinetik enerjisinin arttıracağını belirtmişlerdir. (Yükselen, 2010). Ayrıca, girdap hareketlerinin yüzey yakınlarında yoğunlaşacağını, bunun sonucunda girdap elemanlarının yüzey yakınlarında rastgele yükselmesinin ani çalkantılar meydana getireceğini belirtmişlerdir. Ayrıca ani patlamalarla akışın dış bölgeye doğru sıçramalar yapacağını belirtmişlerdir. Bazı araştırmacılar, türbülans üretiminin özellikle model cidarı yakınlarındaki sıçramanın neticesinde meydana geldiğini belirtmişlerdir (Kim, 2004).

Akış ortamında bulunan iki cismin birbirlerinden etkilenmesi, iki cismin birbirine yeterli miktarda yakın olmaları veya arkadaki cismin öndekinin iz bölgesinin içerisinde olması durumunda söz konusu olmaktadır (Zdravkovich, 2003). Yan yana

sıralı olarak yerleştirilmiş binalar etrafındaki akışta binalar arasındaki mesafe akışı çok daha karmaşık hale getirmektedir. Özellikle binalar arasında oluşan jet akışı ve binaların arkasında oluşan iz bölgesinin oluşumu ve gelişmesini doğrudan etkilemektedir. Küt cisimler akış ortamında bir arada bulunduklarında bu cisimler etrafındaki akış yapıları birbirleriyle karşılıklı etkileşim içindedirler.

6.2.2 İkili Olarak Yerleştirilmiş Bina Modelleri Etrafındaki Akış Yapısının Deneysel Üst Görünüş Ölçümleri

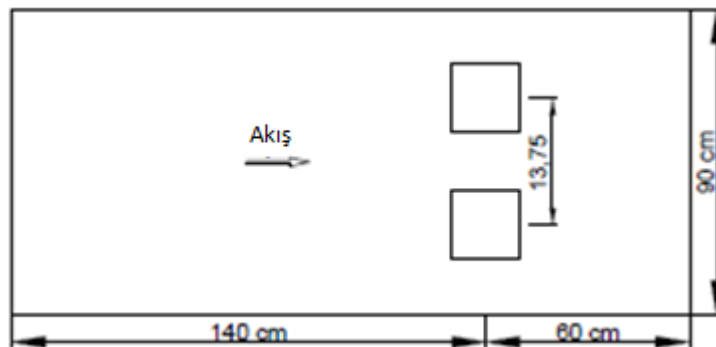
Bina Modelleri etrafındaki akış yapısının, x - z düzlemlerindeki ölçümleri $y/h=0,5$ yüzeylerinde gerçekleştirilmiştir. (Şekil 5.1)

6.2.2 Genel Akış Yapısı

Bu bölümde, model bölüm 5’de tek olarak yerleştirilen bina modelleri ikili olarak Şekil 6.2’de görüldüğü gibi yerleştirilmiştir. İki bina merkezleri arası 13,75cm olarak alınmıştır. Şekil 6.1’de deney düzeneği üzerinde iki geniş binanın yerleşimi gösterilmiştir.



Şekil 6.1 Deney düzeneği üzerinde ikili model yerleşimi



Şekil 6.2 İki bina modelinin şematik görünüşü

Şekil 6.2’de şematik olarak gösterilen 5cmx5cmx5cm ebatlarında iki adet çatısız (model A) bina modeli kanal içerisindeki plaka üzerine yerleştirilerek akış yapıları incelenmiştir. Şekil 6.3’de görüldüğü gibi akış yapıları tek çatısız bina modelindeki akım çizgileri, vektör ve çevrinti eğrileri ile benzerlik göstermektedir. İki bina modeli aynı olduğundan, iki model arka bölgesindeki girdap boyutları hemen hemen aynıdır (Şekil 6.3a). İki bina için yan yüzeylerdeki girdaplar incelendiğinde üst binanın her iki tarafında girdap oluşurken alt binanın bir bölgesinde girdap oluşmadığı gözlemlenmiştir. Üst bina modelinde bina ön yüzeyinden S_{ab1} noktasından yukarıya doğru ayrılan akış, model yan-sol köşesinden ayrılarak bir F_1 girdap bölgesi oluşturmaktadır. Bu girdap merkezi koordinatları $x=57,36\text{mm}$ ve $z=222,70\text{mm}$ noktasındadır. Model yan-sol ayrılma bölgesi, N_1 noktasına kadar uzanmakta olup, uzunluğu $X_R=30,36\text{mm}$, kalınlığı ise $11,11\text{mm}$ olarak ölçülmektedir. Aşağı ayrılan akış model yan sağ köşesinden ayrılarak bir F_2 girdap bölgesi oluşturmaktadır. Bu girdap merkezi de F_1 girdabıyla x doğrultusunda aynı merkezde oluşmuş olup, koordinatları $x=57,36\text{mm}$ ve $z=163,34\text{mm}$ noktasındadır. Model yan sağ ayrılma bölgesi, N_2 noktasına kadar uzanmakta olup, uzunluğu $X_R=28,34\text{mm}$ kalınlığı ise $12,3\text{mm}$ olarak ölçülmektedir. Binanın arka bölgesinde oluşan girdaplara bakıldığında birbirine simetrik bir yapıda olduğu görülmektedir. Üst kısımda oluşan girdap F_3 saat yönünde dönmekte olup merkezi koordinatları $x=106,307\text{ mm}$ ve $z=210,186\text{mm}$ noktasındadır. Burada girdap eşdeğer eğrilerine kırmızı renkle gösterilmiştir (Şekil 6.3c). Alt tarafta oluşan girdap F_4 ise saatin tersi yönünde dönmekte olup merkezi koordinatları $x= 97,399\text{mm}$ ve $y=174,47\text{mm}$ noktasındadır. Burada da girdap eşdeğer eğrilerine kırmızı renkle gösterilmiştir. Model arkasındaki ayrılma bölgesinin uzunluğu $46,37\text{mm}$ olarak belirlenmiştir. Durma noktası S_1 noktası koordinatları ise $x=136,267\text{mm}$ ve $z=194,41\text{mm}$ olarak belirlenmiştir.

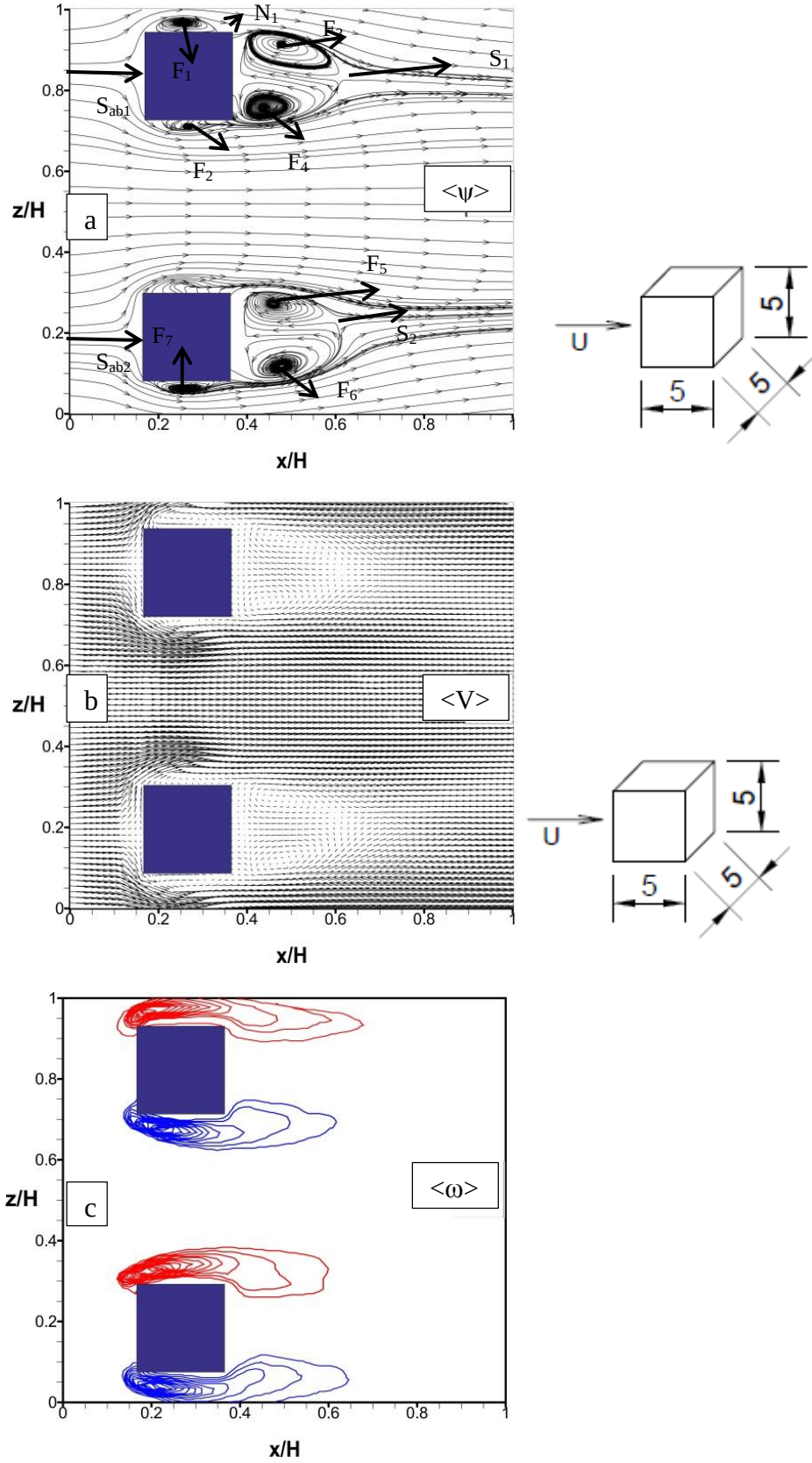
Alt bina incelendiğinde bina ön yüzeyinden S_{ab2} noktasından yukarı ayrılan akış model yan-sol köşesinden ayrılarak bölünmüş fakat belirgin bir girdap yapısı oluşturmamıştır. Aşağı ayrılan akış model yan sağ köşesinden ayrılarak bir F_5 girdap bölgesi oluşturmaktadır. Bu girdap merkezi de F_1 ve F_2 girdabıyla x doğrultusunda aynı merkezde oluşmuş olup, koordinatları $x=57,36\text{mm}$ ve $z=15,38\text{mm}$ noktasındadır. Model yan sağ ayrılma bölgesi, N_2 noktasına kadar uzanmakta olup, uzunluğu $X_R=32,2\text{mm}$, kalınlığı ise $12,1\text{mm}$ olarak ölçülmektedir. Alt binanın da arka bölgesinde oluşan girdaplar incelendiğinde hemen hemen birbirine simetrik bir yapıda

olduğu görülmektedir. Üst kısımda oluşan girdap F_6 saat yönünde dönmekte olup merkezi koordinatları $x=101,049$ mm ve $z=2162,69$ mm noktasındadır. Burada girdap eş değer eğrileri kırmızı renkle gösterilmiştir (Şekil 6.3c). Alt tarafta oluşan girdap F_7 ise saatin tersi yönünde dönmekte olup merkezi koordinatları $x= 105,497$ mm ve $y=27,4$ mm noktasındadır. Burada da girdap eş değer eğrileri mavi renkle gösterilmiştir. Model arkasındaki ayrılma bölgesinin uzunluğu 38,5mm ve kalınlığı 20,3mm olarak belirlenmiştir. Durma noktası S_2 noktası koordinatları ise $x=134,243$ mm ve $z=53,4137$ mm olarak belirlenmiştir. Şekil 6.3b’de ölçüm sonucu elde edilen 7326(99x74) adet vektör gösterilmiştir. Zaman ortalamalı hız alanları $\langle V \rangle$ bina yakınlarında hız vektörlerinde azalma olduğu ve hız vektör uzunluklarında azalması nedeniyle, bu bölgelerde hızlar azalmıştır. Bina çevresinden uzaklaştıkça hız vektörlerinin bulunduğu alanların arttığı ve hız vektör uzunluklarının artması sebebiyle hız değerleri artmıştır. Özellikle bina üzerinde oluşan girdap üst bitim noktalarında hızın yükseldiği bölgeleri görebiliriz.

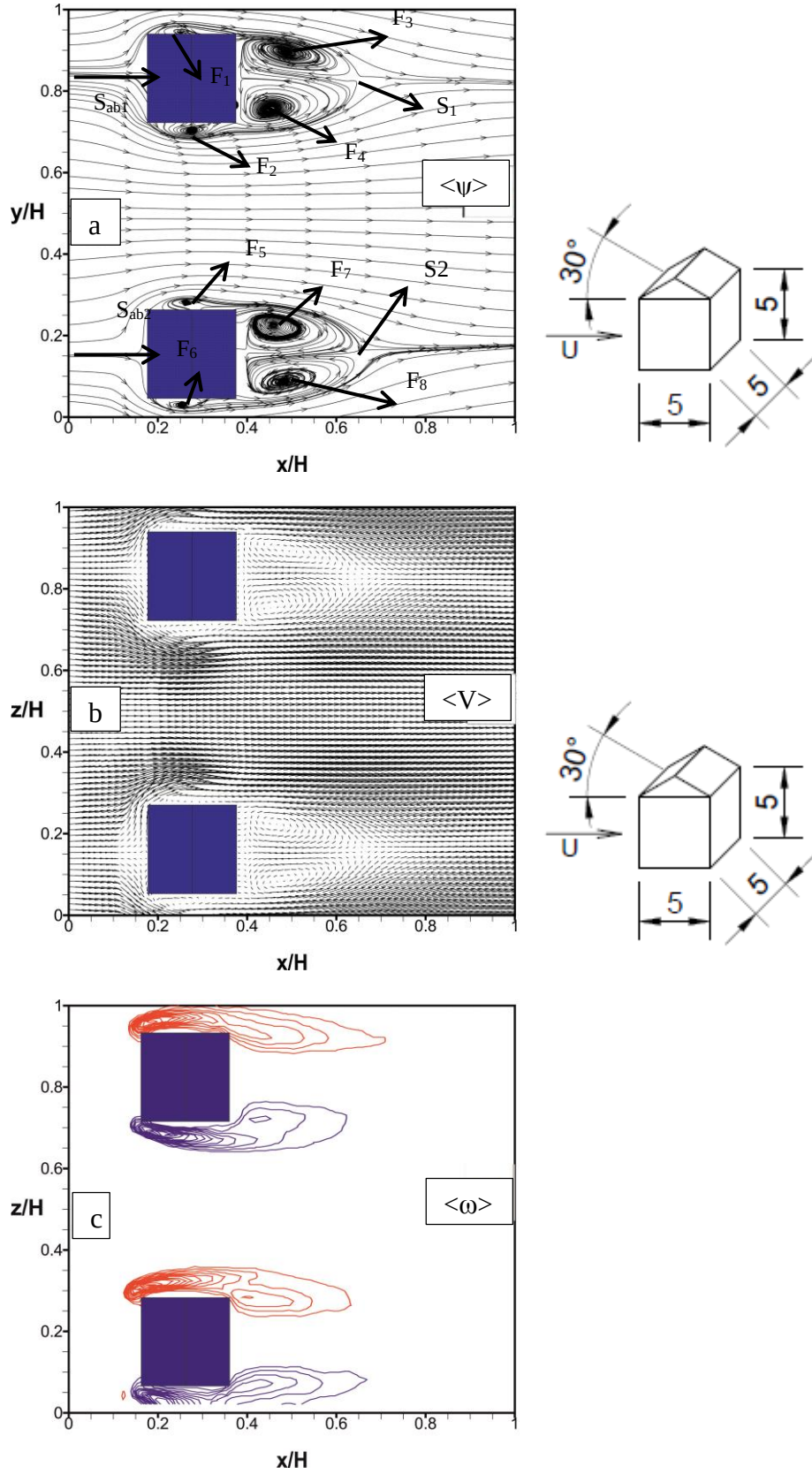
Şekil 6.4’de gösterilen model boyutları 5cmx5cmx5cm olarak alınan iki kare kesitli 30° çatı eğimli (model B) bina modelleri çevresindeki akış yapıları incelenmiştir. İki bina modeli aynı olduğundan, iki model arka bölgesindeki girdap boyutları hemen hemen aynıdır (Şekil 6.4a). İki bina için yan yüzeylerdeki girdaplar incelendiğinde oluşan girdapların birbiriyle benzerli gösterdiği görülmektedir. Üst bina modelinde bina ön yüzeyinden S_{ab1} noktasından yukarı ayrılan akış, model yan-sol köşesinden ayrılarak bir F_1 girdap bölgesi oluşturmaktadır. Bu girdap merkezi koordinatları $x=56,91$ mm ve $z=215,741$ mm noktasındadır. Model yan-sol ayrılma bölgesi, N_1 noktasına kadar uzanmakta olup, uzunluğu $X_R=23,08$ mm kalınlığı ise 8,81mm olarak ölçülmektedir. Aşağı ayrılan akış model yan sağ köşesinden ayrılarak bir F_2 girdap bölgesi oluşturmaktadır. Bu girdap merkezi koordinatları $x=60,96$ mm ve $z=161,948$ mm noktasındadır. Model yan sağ ayrılma bölgesi, N_2 noktasına kadar uzanmakta olup, uzunluğu $X_R=21,4$ mm, kalınlığı ise 8,8mm olarak ölçülmektedir. Binanın arka bölgesinde oluşan girdaplara bakıldığında birbirine simetrik bir yapıda olduğu görülmektedir. Üst kısımda oluşan girdap F_3 saat yönünde dönmekte olup merkezi $x=114,404$ mm ve $z=206,939$ mm noktasındadır. Burada girdap eşdeğer eğrileri kırmızı renkle gösterilmiştir (Şekil 6.4c). Alt tarafta oluşan girdap F_4 ise saatin tersi yönünde dönmekte olup, merkezi koordinatları $x= 105,502$ mm ve $y=169,369$ mm noktasındadır. Burada da girdap eşdeğer eğrileri mavi renkle gösterilmiştir. Model

arkasındaki ayrılma bölgesinin uzunluğu 53,45mm olarak belirlenmiştir. Durma noktası S_1 noktası koordinatları ise $x=144,365\text{mm}$ ve $z=189,311\text{mm}$ olarak belirlenmiştir.

Alt bina incelendiğinde bina ön yüzeyinden S_{ab2} noktasından yukarı ayrılan akış model yan-sol köşesinden ayrılarak sol köşesinden ayrılarak bir F_5 girdap bölgesi oluşturmaktadır. Bu girdap merkezi koordinatları $x=54,07\text{mm}$ ve $z=73,35\text{mm}$ noktasındadır. Model yan-sol ayrılma bölgesi, N_3 noktasına kadar uzanmakta olup, uzunluğu $X_R=21,18\text{mm}$ kalınlığı ise $7,2\text{mm}$ olarak ölçülmektedir. Aşağıya doğru ayrılan akış model yan sağ köşesinden ayrılarak bir F_6 girdap bölgesi oluşturmaktadır. Bu girdap merkezi de F_1 x doğrultusunda aynı merkezde oluşmuş olup, koordinatları $x=56,91\text{mm}$ ve $z=14,91\text{mm}$ noktasındadır. Model yan sağ ayrılma bölgesi, N_4 noktasına kadar uzanmakta olup, uzunluğu $X_R=33,5\text{mm}$, kalınlığı ise $9,1\text{mm}$ olarak ölçülmektedir. Alt binanın da arka bölgesinde oluşan girdaplar incelendiğinde hemen hemen birbirine simetrik bir yapıda olduğu görülmektedir. Üst kısımda oluşan girdap F_7 saat yönünde dönmekte olup merkezi koordinatları $x=101,449\text{mm}$ ve $z=61,29\text{mm}$ noktasındadır. Burada girdap eşdeğer eğrileri kırmızı renkle gösterilmiştir (Şekil 6.4c). Alt tarafta oluşan girdap F_8 ise saatin tersi yönünde dönmekte olup merkezi F_7 x doğrultusunda aynı merkezde oluşmuş olup, koordinatları $x=101,448\text{mm}$ ve $y=26,04\text{mm}$ noktasındadır. Burası da girdap eşdeğer eğrilerinin mavi renkte olduğu bölgedir. Model arkasındaki ayrılma bölgesinin uzunluğu $56,11\text{mm}$ olarak belirlenmiştir. Durma noktası S_2 noktası koordinatları ise $x=146,389\text{mm}$ ve $z=33,933\text{mm}$ olarak belirlenmiştir. Şekil 6.4b’de ölçüm sonucu elde edilen $7326(99 \times 74)$ adet vektör gösterilmiştir. Zaman ortalamalı hız alanları $\langle V \rangle$ bina yakınlarında hız vektörlerinde azalma olduğu ve hız vektör uzunluklarında azalması nedeniyle, bu bölgelerde hızlar azalmıştır. Bina çevresinden uzaklaştıkça hız vektörlerinin bulunduğu alanların arttığı ve hız vektör uzunluklarının artması sebebiyle hız değerleri artmıştır. Özellikle bina üzerinde oluşan girdap üst bitim noktalarında hızın yükseldiği bölgeleri görebiliriz. Ayrıca binaların arasında oluşan jet akış nedeniyle özellikle binalara yakın bölgelerde hızlar yükselmiştir.



Şekil 6.3 İkili bina modeli için model A etrafındaki akış $y/h=0,5$ yüzeyindeki zaman ortalama a) akım çizgileri $\langle \psi \rangle$, b) hız dağılımı $\langle V \rangle$, c) girdap eşdeğer eğrileri $\langle \omega \rangle$, minimum ve girdap eşdeğer eğrileri artış değeri $\langle \omega_{min} \rangle = \pm 4s^{-1}$ ve $\Delta \langle \omega \rangle = 2s^{-1}$



Şekil 6.4 İkili bina modeli için model B etrafındaki akış $y/h=0,5$ yüzeyindeki zaman ortalama a) akım çizgileri $\langle \psi \rangle$, b) hız dağılımı $\langle V \rangle$, c) girdap eşdeğer eğrileri $\langle \omega \rangle$, minimum ve girdap eşdeğer eğrileri artış değeri $\langle \omega_{\min} \rangle = \pm 4s^{-1}$ ve $\Delta \langle \omega \rangle = 2s^{-1}$

Şekil 6.5’de gösterilen model boyutları 5cmx5cmx5cm olarak alınan biri çatısız (model A) ve diğeri 30° eğimli çatılı (model B) bina modelleri çevresindeki akış yapıları incelenmiştir. Model B plakanın üst tarafına yerleştirilmiş, model A da plakanın alt tarafına yerleştirilmiştir. İki bina modeli farklı olduğundan, iki bina modelinin arka bölgesindeki girdap boyutları incelendiğinde girdap büyüklüklerinin değiştiği görülmektedir (Şekil6.5a). Çatılı model (model B) arkasındaki girdap uzunlukları çatısız modele göre %7,5 artmıştır. İki bina için yan yüzeylerdeki girdaplar incelendiğinde, çatısız modelle (model A) hemen hemen büyüklükleri aynıdır. Üst bina modelinde bina ön yüzeyinden S_{ab1} noktasından yukarıya doğru ayrılan akış, model yan-sol köşesinden ayrılarak bir F_1 girdap bölgesi oluşturmaktadır. Bu girdap merkezi koordinatları $x=57,31\text{mm}$ ve $z=218,998\text{mm}$ noktasındadır. Model yan-sol ayrılma bölgesi, N_1 noktasına kadar uzanmakta olup, uzunluğu $X_R=23,88\text{mm}$ kalınlığı ise $9,87\text{mm}$ olarak ölçülmektedir. Aşağıya doğru ayrılan akış model yan sağ köşesinden ayrılarak bir F_2 girdap bölgesi oluşturmaktadır. Bu girdap merkezinin koordinatları $x=60,55\text{mm}$ ve $z=160,55\text{mm}$ noktasındadır. Model yan sağ ayrılma bölgesi, N_2 noktasına kadar uzanmakta olup, uzunluğu $X_R=17,82\text{mm}$, kalınlığı ise $6,96\text{mm}$ olarak ölçülmektedir. Binanın arka bölgesinde oluşan girdaplara bakıldığında birbirine simetrik bir yapıda olduğu görülmektedir. Üst kısımda oluşan girdap F_3 saat yönünde dönmekte olup merkezinin koordinatları $x=105,094\text{mm}$ ve $z=207,98\text{mm}$ noktasındadır. Burada girdap eşdeğer eğrileri kırmızı renkle gösterilmiştir (Şekil 6.5c). Alt tarafta oluşan girdap F_4 ise saatin tersi yönünde dönmekte olup merkezi $x= 97,80\text{mm}$ ve $y=169,69\text{mm}$ noktasındadır. Burası da girdap eşdeğer eğrilerinin mavi renkte olduğu yerdir. Model arkasındaki girdap bölgesinin uzunluğu $107,83\text{mm}$ olarak belirlenmiştir. Durma noktası S_1 noktası koordinatları ise $x=135,685\text{mm}$ ve $z=183,311\text{mm}$ olarak belirlenmiştir.

Alt bina incelendiğinde bina ön yüzeyinden S_{ab2} noktasından yukarı ayrılan akış model yan-sol köşesinden ayrılarak sol köşesinden ayrılarak bir F_5 girdap bölgesi oluşturmaktadır. Bu girdap merkezinin koordinatları $x=57,31\text{mm}$ ve $z=63,65\text{mm}$ noktasındadır. Model yan-sol ayrılma bölgesi, N_3 noktasına kadar uzanmakta olup, uzunluğu $X_R=21,45\text{mm}$, kalınlığı ise $7,88\text{mm}$ olarak ölçülmektedir. Aşağıya doğru ayrılan akış model yan sağ köşesinden ayrılarak bir F_6 girdap bölgesi oluşturmaktadır. Girdap merkezinin koordinatları $x=58,53\text{mm}$ ve $z=4,71\text{mm}$ noktasındadır. Model yan sağ ayrılma bölgesi, N_4 noktasına kadar uzanmakta olup,

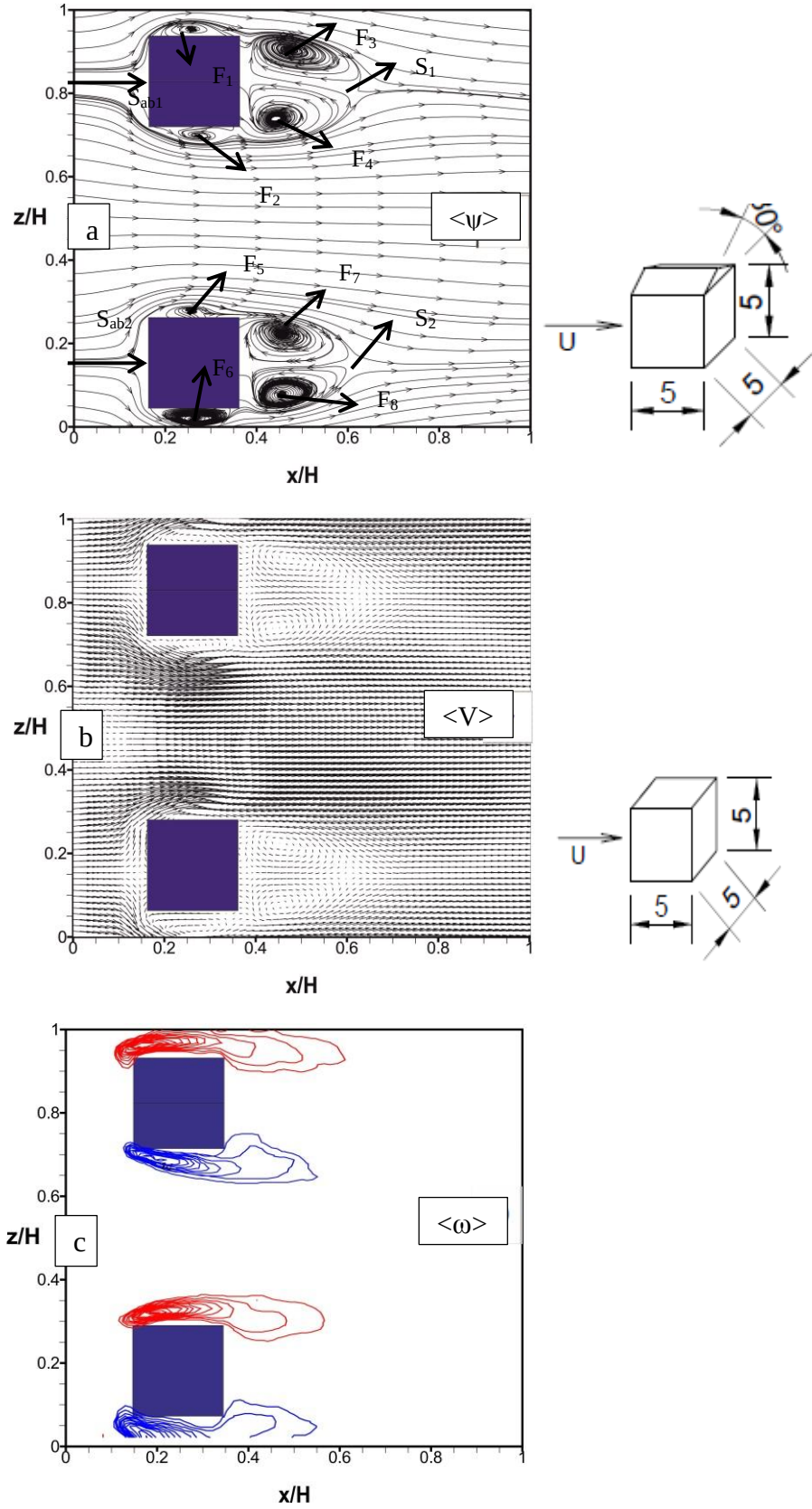
uzunluğu $X_R=32,39\text{mm}$, kalınlığı ise $8,4\text{mm}$ olarak ölçülmektedir. Alt binanın da arka bölgesinde oluşan girdaplar incelendiğinde hemen hemen birbirine simetrik bir yapıda olduğu görülmektedir. Üst kısımda oluşan girdap F_7 saat yönünde dönmekte olup merkezinin koordinatları $x=99,72\text{ mm}$ ve $z=52,02\text{mm}$ noktasındadır. Burada girdap eş değer eğrileri kırmızı renkle gösterilmiştir (Şekil 6.5.c). Alt tarafta oluşan girdap F_8 ise saatin tersi yönünde dönmekte olup merkezi koordinatları F_7 x doğrultusunda aynı merkezde oluşmuş olup, koordinatları $x= 99,72\text{mm}$ ve $y=17,16\text{mm}$ noktasındadır. Burada da girdap eşdeğer eğrileri mavi renkle gösterilmiştir. Model arkasındaki girdap bölgesinin uzunluğu $48,18\text{mm}$ olarak belirlenmiştir. Durma noktası S_2 noktası koordinatları ise $x=135,86\text{mm}$ ve $z=34,39\text{mm}$ olarak belirlenmiştir. Şekil 6.5b’de ölçüm sonucu elde edilen $7326(99 \times 74)$ adet vektör gösterilmiştir. Zaman ortalamalı hız alanları $\langle V \rangle$ bina yakınlarında hız vektörlerinde azalma olduğu ve hız vektör uzunluklarında azalması nedeniyle, bu bölgelerde hızlar azalmıştır. Bina çevresinden uzaklaştıkça hız vektörlerinin bulunduğu alanların arttığı ve hız vektör uzunluklarının artması sebebiyle hız değerleri artmıştır. Özellikle bina üzerinde oluşan girdap üst bitim noktalarında hızın yükseldiği bölgeleri görebiliriz. Özellikle bina üzerinde oluşan girdap üst bitim noktalarında hızın yükseldiği bölgeleri görebiliriz. Ayrıca binaların arasında bir jet akış oluşmuş olup özellikle binalara yakın bölgelerde hızlar yükselmiştir.

Şekil 6.6’da gösterilen model boyutları $5\text{cm} \times 5\text{cm} \times 5\text{cm}$ olan 30° eğimli çatılı (model B) ve model boyutları $5\text{cm} \times 10\text{cm} \times 5\text{cm}$ olan diğeri 30° eğimli çatılı (model C) bina modelleri çevresindeki akış yapıları incelenmiştir. Model C plakanın üst tarafına model B ise plakanın alt tarafına yerleştirilmiştir. Çatılı uzun (model C) ve kısa (model B) bina modellerinin arka bölgesindeki girdap boyutları incelendiğinde girdap büyüklüklerinin değiştiği görülmektedir (Şekil 6.6a). Çatılı uzun model (model C) arkasındaki girdap uzunlukları çatılı kısa (model B) modeline göre %13.33 artmıştır. Üst bina modelinde bina ön yüzeyinden S_{ab1} noktasından yukarıya doğru ayrılan akış, model yan-sol köşesinden ayrılarak bir F_1 girdap bölgesi oluşturmaktadır. Bu girdap merkezinin koordinatları $x=56,91\text{mm}$ ve $z=215,751\text{mm}$ noktasındadır. Model yan-sol ayrılma bölgesi, N_1 noktasına kadar uzanmakta olup, uzunluğu $X_R=21\text{mm}$, kalınlığı ise $7,45\text{mm}$ olarak ölçülmektedir. Aşağıya doğru ayrılan akış model yan sağ köşesinden ayrılarak bir F_2 girdap bölgesi oluşturmaktadır. Bu girdap merkezinin koordinatları $x=60,95\text{mm}$ ve $z=161,941\text{mm}$

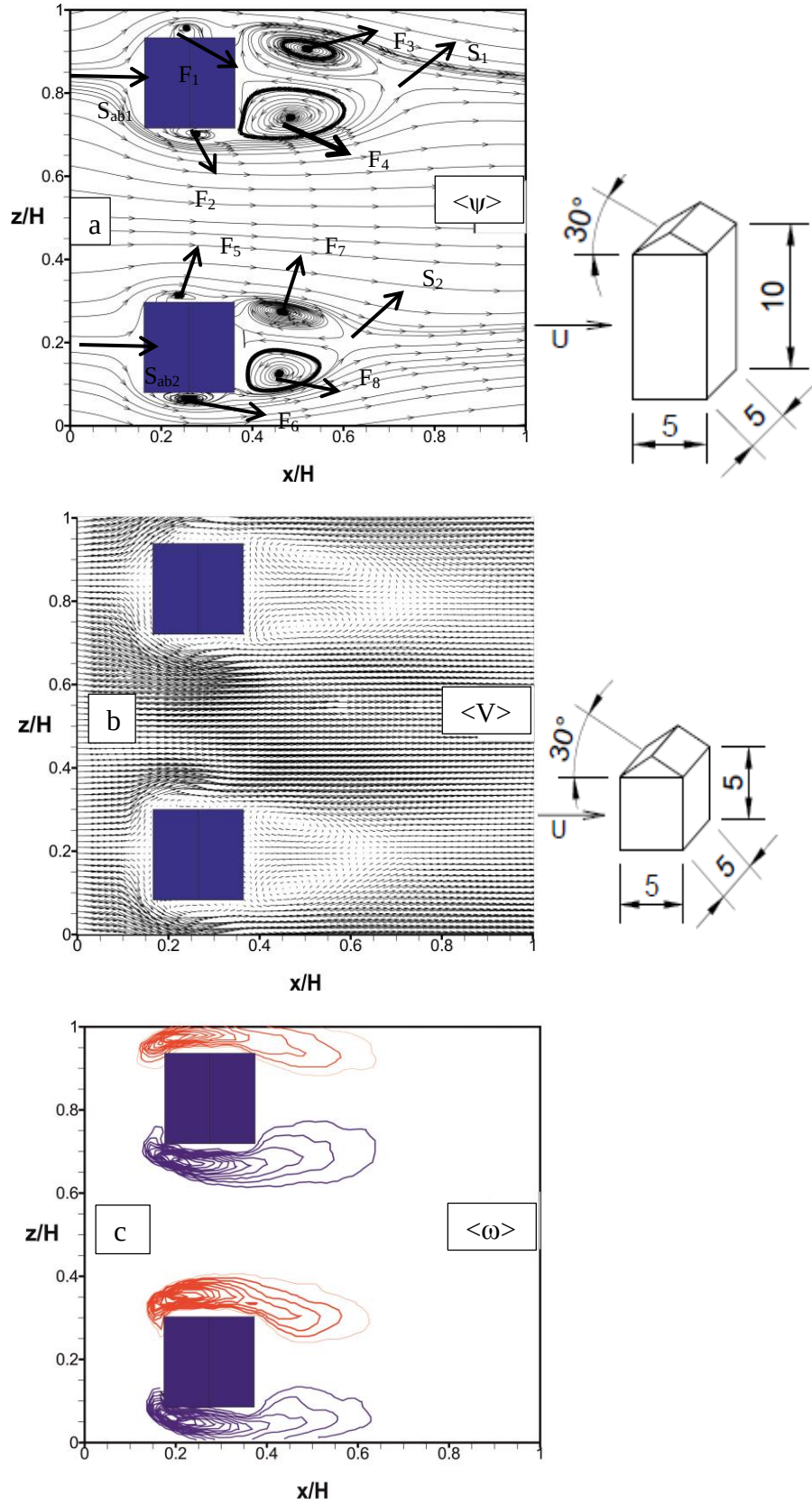
noktasındadır. Model yan sağ ayrılma bölgesi, N₂ noktasına kadar uzanmakta olup, uzunluğu $X_R=24,29\text{mm}$, kalınlığı ise $6,75\text{mm}$ olarak ölçülmektedir. Binanın arka bölgesinde oluşan girdaplara bakıldığında birbirine simetrik bir yapıda olduğu görülmektedir. Üst kısımda oluşan girdap F₃ saat yönünde dönmekte olup merkezi koordinatları $x=114,404\text{mm}$ ve $z=206,938\text{mm}$ noktasındadır.

Alt bina incelendiğinde bina ön yüzeyinden S_{ab2} noktasından yukarı ayrılan akış Şekil.1a model yan-sol köşesinden ayrılarak sol köşesinden ayrılarak bir F₅ girdap bölgesi oluşturmaktadır. Bu girdap merkezinin koordinatları $x=54,07\text{mm}$ ve $z=73,35\text{mm}$ noktasındadır. Model yan-sol ayrılma bölgesi, N₃ noktasına kadar uzanmakta olup, uzunluğu $X_R=27,31\text{mm}$, kalınlığı ise $9,27\text{mm}$ olarak ölçülmektedir.

Aşağı ayrılan akış model yan sağ köşesinden ayrılarak bir F₆ girdap bölgesi oluşturmaktadır. Girdap merkezinin koordinatları $x=56,101\text{mm}$ ve $z=14,91\text{mm}$ noktasındadır. Model yan sağ ayrılma bölgesi, N₄ noktasına kadar uzanmakta olup, uzunluğu $X_R=27,93\text{mm}$, kalınlığı ise $9,8\text{mm}$ olarak ölçülmektedir. Alt binanın da arka bölgesinde oluşan girdaplar incelendiğinde hemen hemen birbirine simetrik bir yapıda olduğu görülmektedir. Üst kısımda oluşan girdap F₇ saat yönünde dönmekte olup merkezi koordinatları $x=101,444\text{mm}$ ve $z=61,29\text{mm}$ noktasındadır. Burada girdap eşdeğer eğrileri kırmızı renkle gösterilmiştir (Şekil 6.6c). Alt tarafta oluşan girdap F₈ ise saatin tersi yönünde dönmekte olup merkezi koordinatları F₇ x doğrultusunda aynı merkezde oluşmuş olup, koordinatları $x=101,444\text{mm}$ ve $y=26,04\text{mm}$ noktasındadır. Burada da girdap eşdeğer eğrileri mavi renkle gösterilmiştir. Model arkasındaki girdap bölgesinin uzunluğu $50,37\text{mm}$ olarak belirlenmiştir. Durma noktası S₂ noktası koordinatları ise $x=137,486\text{mm}$ ve $z=44,139\text{mm}$ olarak belirlenmiştir. Şekil 6.6b’de ölçüm sonucu elde edilen 7326(99x74) adet vektör gösterilmiştir. Zaman ortalama hız alanları $\langle V \rangle$ bina yakınlarında hız vektörlerinde azalma olduğu ve hız vektör uzunluklarında azalması nedeniyle, bu bölgelerde hızlar azalmıştır. Bina çevresinden uzaklaştıkça hız vektörlerinin bulunduğu alanların arttığı ve hız vektör uzunluklarının artması sebebiyle hız değerleri artmıştır. Özellikle bina üzerinde oluşan girdap üst bitim noktalarında hızın yükseldiği bölgeleri görebiliriz. Ayrıca binaların arasında bir jet akış oluşmuş olup özellikle binalara yakın bölgelerde hızlar yükselmiştir.



Şekil 6.5 İkili bina modeli için model A ve model B etrafındaki akış $y/h=0,5$ yüzeyindeki zaman ortalama a)akım çizgileri $\langle \psi \rangle$, b) hız dağılımı $\langle V \rangle$, c) girdap eşdeğer eğrileri $\langle \omega \rangle$, minimum ve girdap eşdeğer eğrileri artış değeri $\langle \omega \rangle_{\min} = \pm 4s^{-1}$ ve $\Delta \langle \omega \rangle = 2s^{-1}$

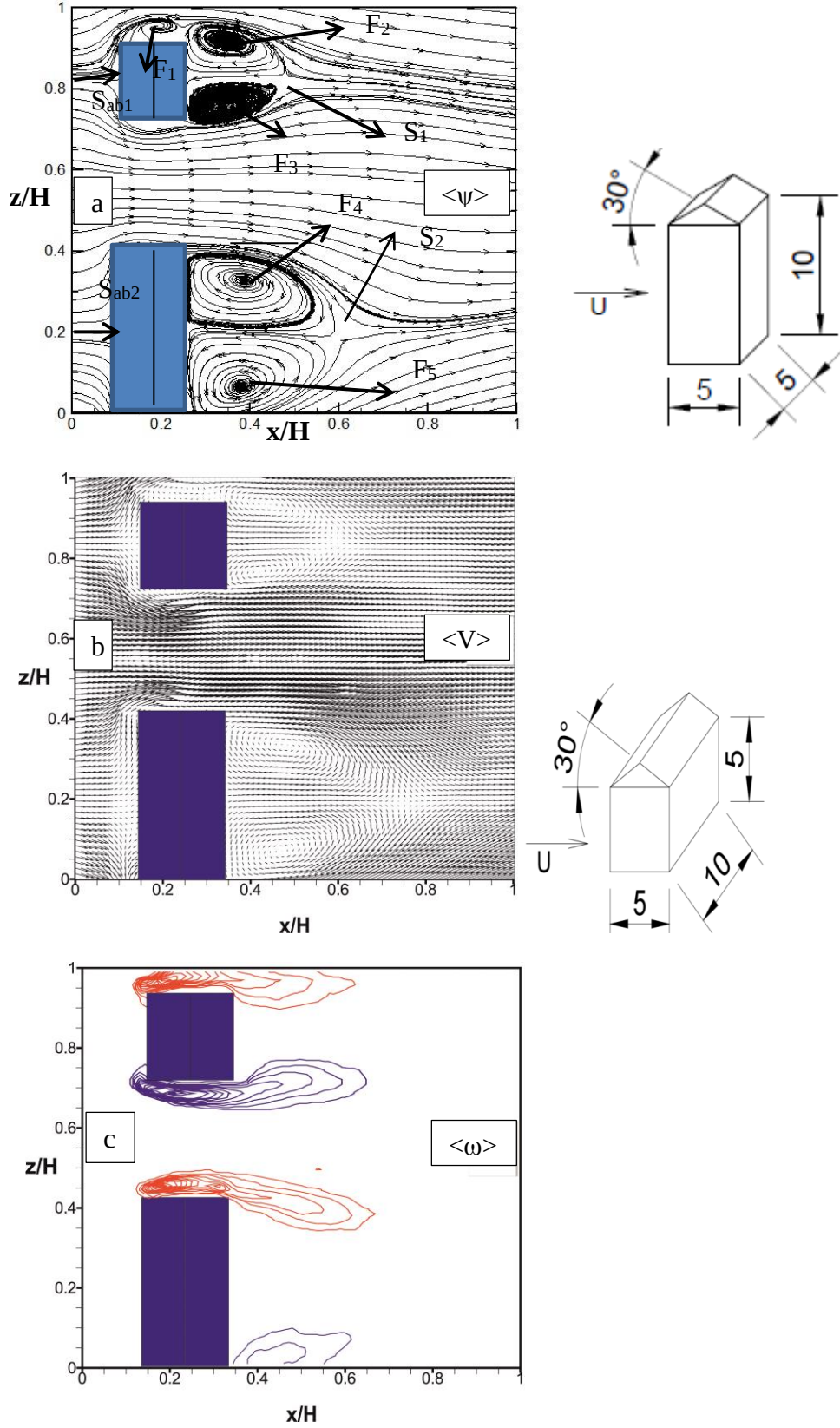


Şekil 6.6 İkili bina modeli için model B ve model C etrafındaki akış $y/h=0,5$ yüzeyindeki zaman ortalamalı a) akım çizgileri $\langle \psi \rangle$, b) hız dağılımı $\langle V \rangle$, c) girdap eşdeğer eğrileri $\langle \omega \rangle$, minimum ve girdap eşdeğer eğrileri artış değeri $\langle \omega \rangle_{\min} = \pm 4s^{-1}$ ve $\Delta \langle \omega \rangle = 2s^{-1}$

Şekil 6.7’de gösterilen model boyutları 5cmx10cmx5cm olan 30° eğimli çatılı (model C) ve model boyutları 10cmx5cmx5cm olan diğeri 30° eğimli çatılı (model D) bina modelleri çevresindeki akış yapıları incelenmiştir. Model C plakanın üst tarafına model D ise plakanın alt tarafına yerleştirilmiştir. Çatılı geniş (model D) ve uzun (model C) bina modellerinin arka bölgesindeki girdap boyutları incelendiğinde girdap büyüklüklerinin değiştiği görülmektedir (Şekil 6.7a). Çatılı geniş model (model D) arkasındaki girdap uzunlukları çatılı uzun (model C) modeline göre %10 artmıştır. Üst bina modelinde bina ön yüzeyinden S_{ab1} noktasından yukarıya doğru ayrılan akış, model yan-sol köşesinden ayrılarak bir F_1 girdap bölgesi oluşturmaktadır. Bu girdap merkezinin koordinatları $x=60,76\text{mm}$ ve $z=224,18\text{mm}$ noktasındadır. Model yan-sol ayrılma bölgesi, N_1 noktasına kadar uzanmakta olup, uzunluğu $X_R=23,21\text{mm}$, kalınlığı ise $6,75\text{mm}$ olarak ölçülmektedir. Aşağıya doğru ayrılan akış model yan sağ köşesinde bir girdap bölgesi oluşturmamıştır. Bunun sebebi, iki bina arası mesafe kısa olduğundan iki bina arasında jet akım oluşmuş ve akış hızı artmıştır. Binanın arka bölgesinde oluşan girdaplara bakıldığında birbirine simetrik bir yapıda olduğu görülmektedir. Üst kısımda oluşan girdap F_2 saat yönünde dönmekte olup merkezinin koordinatları $x=109,869\text{mm}$ ve $z=215,296\text{mm}$ noktasındadır. Burada girdap eşdeğer eğrilerine kırmızı renkle gösterilmiştir. Şekil 6.7c’de alt tarafta oluşan girdap F_3 ise saatin tersi yönünde dönmekte olup merkezinin koordinatları $x=106,906\text{mm}$ ve $y=176,335\text{mm}$ noktasındadır. Burada da girdap eşdeğer eğrileri mavi renkle gösterilmiştir. Model arkasındaki ayrılma bölgesinin uzunluğu 66mm olarak belirlenmiştir. Durma noktası S_1 noktası ise $x=154,487\text{mm}$ ve $z=184,648\text{mm}$ olarak belirlenmiştir.

Alt bina incelendiğinde bina ön yüzeyinden S_{ab2} noktasından yukarı ayrılan akış Şekil.1a model yan-sol köşesinde bir girdap bölgesi oluşturmamıştır. Bunun sebebi iki bina arası mesafe kısa olduğundan iki bina arasında jet akım oluşmuş ve akış hızı artmıştır. Bu girdap merkezi $x=54,07\text{mm}$ ve $z=73,35\text{mm}$ noktasındadır. Model yan-sol ayrılma bölgesi, akış ayrılmadan hareketine devam etmektedir. Aşağıya doğru ayrılan akış lazer görüntüsü alanında olmadığından görüntüleyememiştir. Alt binanın da arka bölgesinde oluşan girdaplar incelendiğinde birbirine simetrik bir yapıda olduğu görülmektedir. Üst kısımda oluşan girdap F_4 saat yönünde dönmekte olup merkezinin koordinatları $x=122,56\text{mm}$ ve $z=76,815\text{mm}$ noktasındadır. Burada girdap eşdeğer eğrileri kırmızı renkle gösterilmiştir (Şekil 6.7c). Alt tarafta oluşan girdap F_5 ise saatin

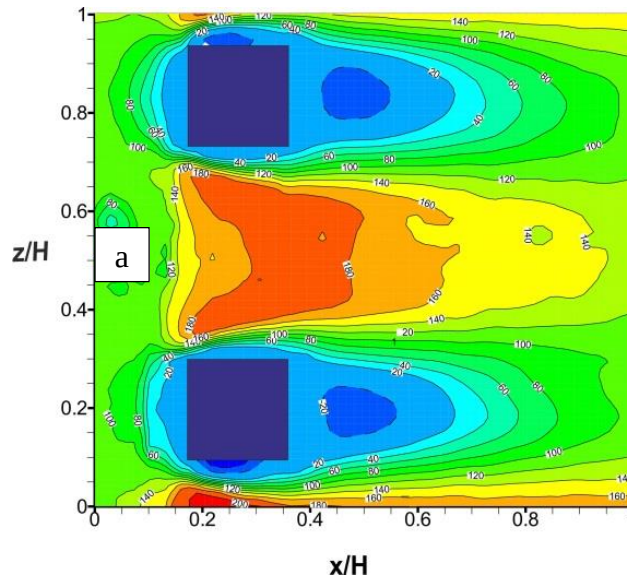
tersi yönünde dönmekte olup merkezi $x= 120,874\text{mm}$ ve $y=1\text{mm}$ noktasındadır. Burada da girdap eşdeğer eğrileri mavi renktedir. Model arkasındaki ayrılma bölgesinin uzunluğu 102mm olarak belirlenmiştir. Geniş bina (model D) arkasındaki durma noktası S_2 noktası uzun binaya (model C) ye göre %22,5 sağa kayarak $x=188,599\text{mm}$ ve $z=44,20\text{mm}$ koordinatlarında oluşmuştur. Şekil 6.7b’de zaman ortalamalı hız alanları $\langle V \rangle$ bina yakınlarında hız vektörlerinde azalma olduğu ve hız vektör uzunluklarında azalması nedeniyle, bu bölgelerde hızlar azalmıştır. Bina çevresinden uzaklaştıkça hız vektörlerinin bulunduğu alanların arttığı ve hız vektör uzunluklarının artması sebebiyle hız değerleri artmıştır. Özellikle bina üzerinde oluşan girdap üst bitim noktalarında hızın yükseldiği bölgeleri görebiliriz.

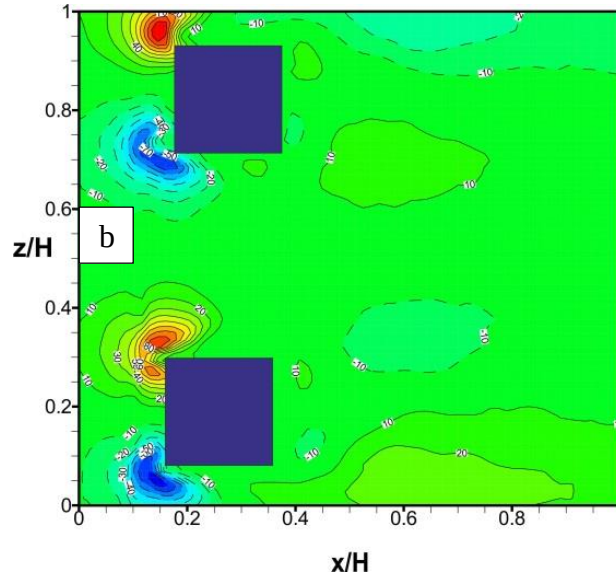


Şekil 6.7 İkili bina modeli için model C ve model D etrafındaki akış $y/h=0,5$ yüzeyindeki zaman ortalama a) akım çizgileri $\langle \psi \rangle$, b) hız dağılımı $\langle V \rangle$, c) girdap eşdeğer eğrileri $\langle \omega \rangle$, minimum ve girdap eşdeğer eğrileri artış değeri $\langle \omega \rangle_{\min} = \pm 4s^{-1}$ ve $\Delta \langle \omega \rangle = 2s^{-1}$

6.1.2 Ortalama Hızlar

İkili çatısız (model A) model çevrelerindeki $z/h=0,5$ olan simetri yüzeyi için x ve y yönündeki ortalama eşdeğer hız eğrileri, Şekil 6.8a ve Şekil 6.8b’de gösterilmiştir. Şekil 6.8a’da x yönündeki ortalama eşdeğer hız eğrileri gösterilmiştir. Bina üst yan bölgelerinde ve bina arka bölgelerinde oluşan ayrılmış akış bölgesi görülmektedir. Oluşan bu ayrılmış akış bölgeleri eşit büyüklükte oluşmuş olup $x/H= 0.55$ noktasına kadar uzanmaktadırlar. İki bina arasında oluşan jet akış nedeniyle hız artışları görülmektedir. Maksimum hız iki bina arasında oluşmuştur. Şekil 6.8b’de y yönündeki ortalama eş hız eğrileri verilmiştir. Bina önünde akış doğrultusunda alt ve üst kısımlarında (keskin köşeler) birbirine simetrik v eş hız eğrileri oluşmuştur. Bina üst kısımlarında yukarı akış bölgesi, alt kısımlarında ise aşağı akış bölgeleri oluşmuştur. Bina hemen arkasında keskin köşelerde üst ve alt kısımlarda küçük yukarı ve aşağı akış bölgeleri oluşmuştur. Bina arasında yan yüzeylere yakın bölgede birbirine simetrik v eş hız eğrileri oluşmuştur. Üst bina yakınında yukarı akış bölgesi, alt bina yakınında ise aşağı akış bölgeleri oluşmuştur. Bina dış yüzeylerinde kanal cidarlarına yakın kenarlarda ise birbirine simetrik olan v akış eğrileri oluşmuştur. Üst bina civarında aşağı akış bölgesi alt bina civarında ise yukarı akış bölgeleri oluşmuştur.

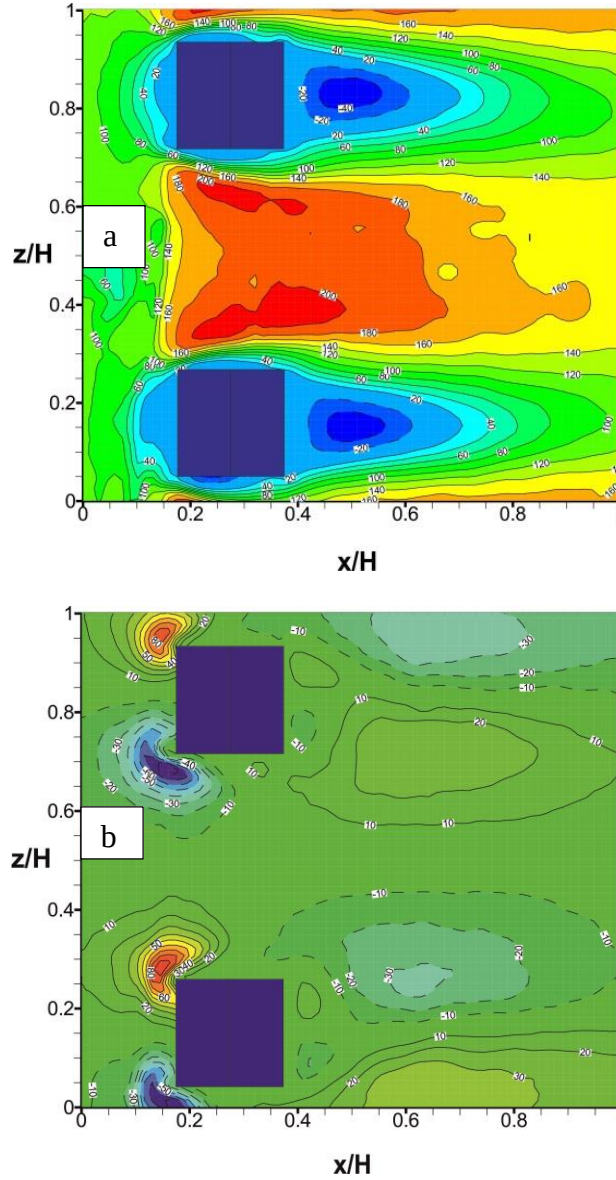




Şekil 6.8 İkili bina modeli için model A etrafındaki akış için $y/h=0,5$ simetri yüzeyi zaman ortalama a) $\langle u \rangle$ hız dağılımı b) $\langle v \rangle$ hız dağılımı

İkili 30° eğimli çatılı kısa (model B) model çevrelerindeki $z/h=0,5$ olan simetri yüzeyi için x ve y yönündeki ortalama eşdeğer hız eğrileri, Şekil 6.9a ve Şekil 6.9b’de gösterilmiştir. Şekil 6.9a’da x yönündeki ortalama eşdeğer hız eğrileri gösterilmiştir. Bina arka bölgelerinde oluşan ters akış bölgesi görülmektedir. Oluşan bu ayrılmış akış bölgeleri iki bina için eşit büyüklükte oluşmuş olup $x/H= 0.62$ noktasına kadar uzanmaktadır. Şekil 6.8a’da u eşdeğer hızı eğrilerine göre ayrılmış akış bölgesi büyümüştür. İki bina arasında oluşan jet akış nedeniyle hız artışları görülmekte olup, özellikle bina yakınlarında artmaktadır. Maksimum hız iki bina arasında oluşmuştur. Akış hızının ön giriş kısımlarında düzensiz akışlar görülmektedir. Bunun sebebi deney sırasında kanal içerisine atılan partiküllerin tabla üzerine çökmeleri ve tabla üzerinde delikleri kapatmak için kullanılan siyah bantlar yapışmasıdır. Bina çevrelerinde oluşan $\langle u \rangle$ eş hız eğrileri biriyle uyumlu ve simetriktir. Şekil 6.8b’de y yönündeki ortalama eşdeğer hız eğrileri verilmiştir. Şekil 6.8b’ye benzer olup bina önünde akış doğrultusunda alt ve üst kısımlarında (keskin köşeler) birbirine simetrik $\langle v \rangle$ eşdeğer hız eğrileri oluşmuştur. Bina üst kısımlarında yukarı akış bölgesi, alt kısımlarında ise aşağı akış bölgeleri oluşmuştur. Bina hemen arkasında keskin köşelerde üst ve alt kısımlarda küçük yukarı ve aşağı akış bölgeleri oluşmuştur. Bina arasında yan yüzeylere yakın bölgede birbirine simetrik $\langle v \rangle$ eşdeğer hız eğrileri oluşmuştur. Üst bina yakınında yukarı akış bölgesi, alt bina yakınında ise aşağı akış bölgeleri oluşmuştur. Çatısız bina modeline göre bu

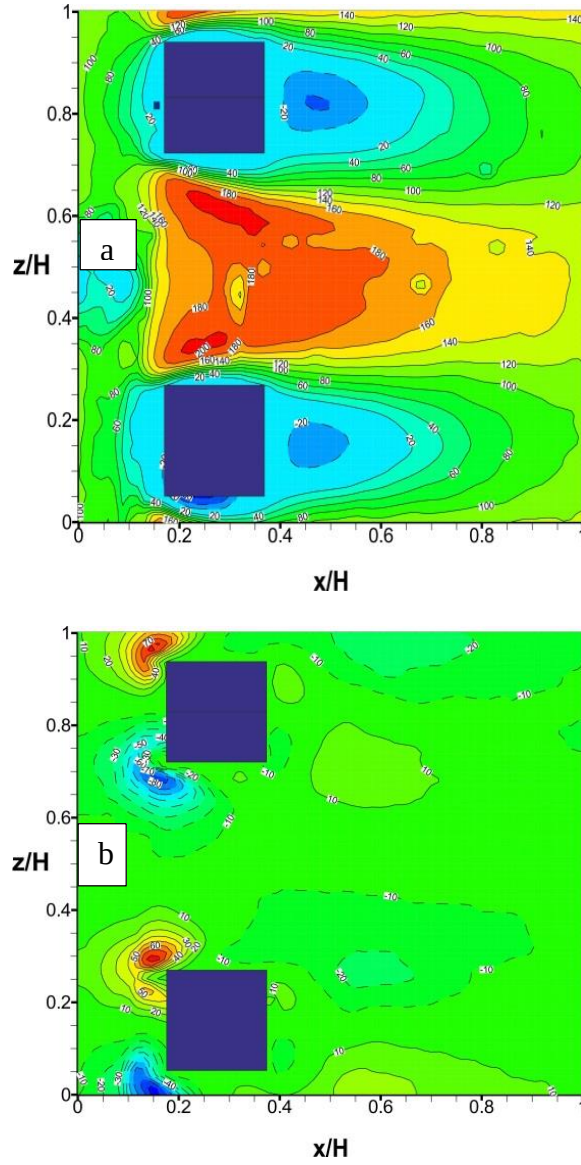
bölgedeki birbirine simetrik olan yukarı ve aşağı akış alanları göreceli olarak büyümüşür. Bina dış yüzeylerinde kanal cıdarlarına yakın kenarlarda ise birbirine simetrik olan v akış eğrileri oluşmuştur. Üst bina civarında aşağı akış bölgesi alt bina civarında ise yukarı akış bölgeleri oluşmuştur. Bu kısımdaki akış alanlarına göre büyümüşür.



Şekil 6.9 İkili bina modeli için model B etrafındaki akış için $y/h=0,5$ simetri yüzeyi zaman ortalama a) $\langle u \rangle$ hız dağılımı b) $\langle v \rangle$ hız dağılımı

30° eğimli çatılı kısa (model B) model ve çatısız uzun model (model C) çevrelerindeki $z/h=0,5$ olan simetri yüzeyi için x ve y yönündeki ortalama eşdeğer

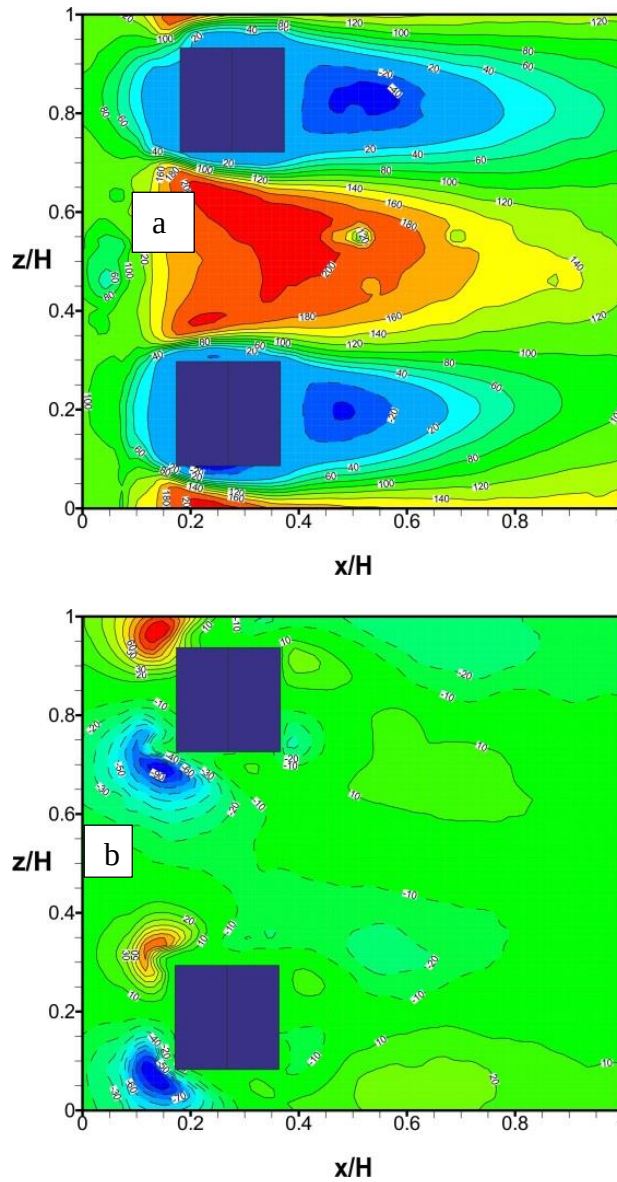
hız eğrileri, Şekil 6.10a ve Şekil 6.10b’de gösterilmiştir. Şekil 6.10a’da x yönündeki ortalama eş hız eğrileri gösterilmiştir. Bina arka bölgelerinde oluşan ayrılmış akış bölgesi görülmektedir. Oluşan bu ayrılmış akış bölgeleri bina modelleri farklı olduğundan eşit büyüklükte oluşmamıştır. Alttaki bina çatısız model için $x/H = 0.52$ noktasına, üstteki çatılı kısa model de ise $x/H = 0.57$ noktasına kadar uzanmaktadır. İki bina arasında oluşan jet akış nedeniyle hız artışları görülmektedir. Maksimum hız iki bina arasında oluşmuştur. Akış hızının ön giriş kısımlarında düzensiz akışlar görülmektedir. Bunun sebebi deney sırasında kanal içerisine atılan partiküllerin tabla üzerine çökmeleri ve tabla üzerinde delikleri kapatmak için kullanılan siyah bantla yapışmasıdır. Şekil 6.10b’de y yönündeki ortalama eşdeğer hız eğrileri verilmiştir. Şekil 6.8b ve Şekil 6.8b’den çok farklı akış oluşmuş olup bina önünde akış doğrultusunda alt ve üst kısımlarında (keskin köşeler) birbirine simetrik $\langle v \rangle$ eşdeğer hız eğrileri oluşmuştur. Bina üst kısımlarında yukarı akış bölgesi, alt kısımlarında ise aşağı akış bölgeleri oluşmuştur. Bina hemen arkasında keskin köşelerde üst ve alt kısımlarda küçük yukarı ve aşağı akış bölgeleri oluşmuştur. Bina arasında yan yüzeylere yakın bölgede birbirine simetrik olmayan $\langle v \rangle$ eşdeğer hız eğrileri oluşmuştur. Üst bina yakınında yukarı akış bölgesi, alt bina yakınında ise aşağı akış bölgeleri oluşmuştur. Şekil 6.9b’de gözlemlenen çatılı bina ile Şekil 6.10b’de çatılı bina birbirine göre 180° dönmüştür. Bina dış yüzeylerinde kanal cidarlarına yakın kenarlarda ise birbirine simetrik olan $\langle v \rangle$ akış eğrileri oluşmuştur. Üst bina civarında aşağı akış bölgesi Alt bina civarında ise yukarı akış bölgeleri oluşmuştur.



Şekil 6.10 İkili bina modeli için model A ve model B etrafındaki akış için $y/h=0,5$ simetri yüzeyi zaman ortalamalı a) $\langle u \rangle$ hız dağılımı b) $\langle v \rangle$ hız dağılımı

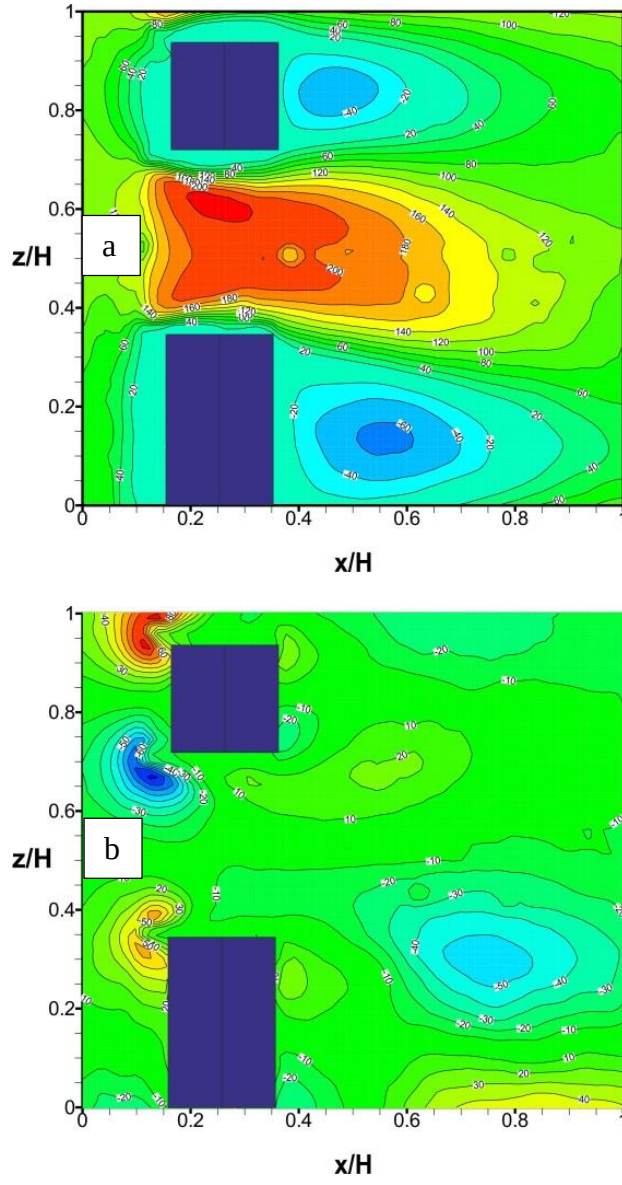
30° eğimli çatılı uzun (model C) model ve 30° eğimli çatılı geniş model (model D) çevrelerindeki $z/h=0,5$ olan simetri yüzeyi için x ve y yönündeki ortalama eşdeğer hız eğrileri, Şekil 6.11a ve Şekil 6.11b’de gösterilmiştir. Şekil 6.11a’da x yönündeki ortalama eşdeğer hız eğrileri gösterilmiştir. Bina arka bölgelerinde oluşan ayrılmış akış bölgesi görülmektedir. Oluşan bu ayrılmış akış bölgeleri bina modelleri farklı olduğundan eşit büyüklükte oluşmamıştır. Altteki bina çatılı kısa model için $x/H=0.55$ noktasına, üstteki çatılı uzun model de ise $x/H=0.62$ noktasına kadar uzanmaktadır. İki bina arasında oluşan jet akış binalar arası mesafe daraldığından dolayı hızlarda çok artış görülmektedir. Şekil 6.11b’de y yönündeki ortalama eşdeğer

hız eğrileri verilmiştir. Bina önünde akış doğrultusunda alt ve üst kısımlarında (keskin köşeler) birbirine simetrik yapıda oluşmamıştır. Üst kısımdaki çatılı uzun bina modelinde $\langle v \rangle$ eş hız eğrileri büyüyerek birbiriyle birleşmiştir. Bina üst kısımlarında yukarı akış bölgesi, alt kısımlarında ise aşağı akış bölgeleri oluşmuştur. Bina hemen arkasında keskin köşelerde üst kısımda oluşan akış bölgeleri büyümüştür. Alt kısımlarda oluşan yukarı ve aşağı akış bölgeleri de bir değişiklik görülmemiştir. Bina arasındaki aşağı akış bölgesi üst çatılı uzun binanın önündeki aşağı akış bölgesi ile birleşmiştir. Bina dış yüzeylerinde kanal cidarlarına yakın kenarlarda ise birbirine simetrik olmayan $\langle v \rangle$ akış eğrileri oluşmuştur. Üst bina civarında aşağı akış bölgesi bina önündeki yukarı akış bölgesi ile birleşmiştir.



Şekil 6.11 İkili bina modeli için model B ve model C etrafındaki akış için $y/h=0,5$ simetri yüzeyi zaman ortalamalı a) $\langle u \rangle$ hız dağılımı b) $\langle v \rangle$ hız dağılımı

30° eğimli çatılı uzun (model C) model ve 30° eğimli çatılı geniş model (model D) çevrelerindeki $z/h=0,5$ olan simetri yüzeyi için x ve y yönündeki ortalama eşdeğer hız dağılımları, Şekil 6.12a ve Şekil 6.12b’de gösterilmiştir. Şekil 6.12a’da x yönündeki ortalama eşdeğer hız dağılımları gösterilmiştir. Bina arka bölgelerinde oluşan ayrılmış akış bölgesi görülmektedir. Oluşan bu ayrılmış akış bölgeleri bina modelleri farklı olduğundan eşit büyüklükte oluşmamıştır. Alttaki bina çatılı geniş model için $x/H= 0.7$ noktasına, üstteki çatılı uzun model de ise $x/H= 0.62$ noktasına kadar uzanmaktadır. İki bina arasında oluşan jet akış binalar arası mesafe daraldığından dolayı hızlarda çok artış görülmektedir. Akış hızının ön giriş kısımlarında düzensiz akışların sebebi yukarıda açıklandığı gibidir. Şekil 6.12b’de y yönündeki ortalama eşdeğer hız dağılımları verilmiştir. Bina önünde akış doğrultusunda alt ve üst kısımlarında (keskin köşeler) birbirine simetrik $\langle v \rangle$ eşdeğer hız dağılımları büyüyerek birbiriyle birleşmiştir. Bina üst kısımlarında yukarı akış bölgesi, alt kısımlarında ise aşağı akış bölgeleri oluşmuştur. Bina hemen arkasında keskin köşelerde üst ve alt kısımlarda oluşan yukarı ve aşağı akış bölgeleri de büyüyerek birbiriyle birleşmiştir. Bina arasında yan yüzeylere yakın bölgede birbirine simetrik olmayan $\langle v \rangle$ eşdeğer hız dağılımları oluşmuştur. Üst bina yakınında yukarı akış bölgesi, alt bina yakınında ise aşağı akış bölgeleri oluşmuştur. Bina dış yüzeylerinde kanal cidarlarına yakın kenarlarda ise birbirine simetrik olmayan v akış eğrileri oluşmuştur. Üst bina civarında, aşağı akış bölgesi alt bina civarında ise yukarı akış bölgeleri oluşmuştur. Burada iki bina arasında tüm alanda $\langle v \rangle$ eşdeğer hız dağılımları oluşmuştur.



Şekil 6.12 İkili bina modeli için model C ve model D etrafındaki akış için $y/h=0,5$ simetri yüzeyi zaman ortalamalı a) $\langle u \rangle$ hız dağılımı b) $\langle v \rangle$ hız dağılımı

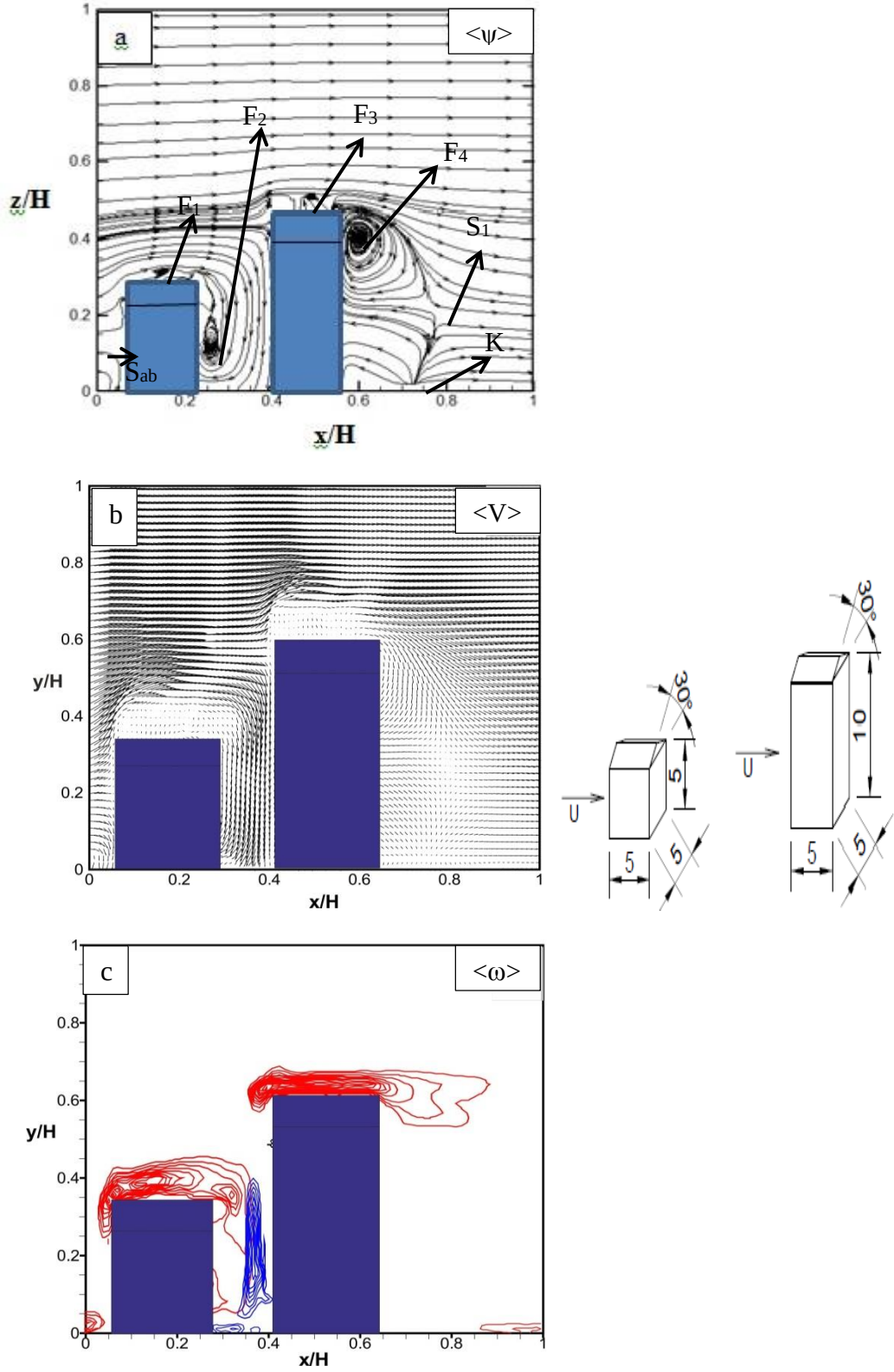
6.2.3 İkili Olarak Yerleştirilmiş Bina Modeller Etrafındaki Akış Yapısının Deneysel Yan Görünüş Ölçümleri

Bina modelleri etrafındaki akış yapısının, x - y düzlemlerindeki ölçümleri $z/h=0,5$ yüzeyinde gerçekleştirilmiştir (Şekil 5.20).

6.2.3.1 Genel Akış Yapısı

Şekil 6.13'de gösterilen model boyutları $5\text{cm} \times 5\text{cm} \times 5\text{cm}$ olan 30° eğimli çatılı (model B) ve model boyutları $5\text{cm} \times 10\text{cm} \times 5\text{cm}$ olan diğeri 30° eğimli çatılı (model C) bina modelleri çevresindeki akış yapıları incelenmiştir. Modeller ard arda sıralanmıştır. Modeller arasındaki mesafe 10cm olarak alınmış olup, Model C plakanın üst tarafına model B ise plakanın alt tarafına yerleştirilmiştir. Çatılı uzun (model C) ve kısa (model B) bina modellerinin arka bölgesindeki girdap boyutları incelendiğinde girdap büyüklüklerinin değiştiği görülmektedir (Şekil 6.13a). Çatılı uzun model (model C) arkasındaki girdap uzunlukları çatılı kısa (model B) modeline göre artmıştır. Ön tarafa kısa model (model B), arka tarafa ise uzun model (model C) yerleştirilmiştir. Öndeki modelde bina ön yüzeyinden S_{ab1} noktasından yukarıya doğru ayrılan akış, model üst köşesinde bir F_1 girdap bölgesi oluşturmaktadır. Bu girdap merkezinin koordinatları $x=45,00\text{mm}$ ve $z=70,32\text{mm}$ noktasında olup akış bina arkasına hareket ederek burada bir girdap bölgesi oluşturmuştur. Bu bina üzerinde S_{ab2} noktasından itibaren akış aşağı doğru ve yukarıya doğru ayrılmıştır. Aşağıya doğru ayrılan akış kısa bina arkasında (model B) F_2 girdap oluşmuştur. Oluşan bu girdap saat yönünde olup merkezinin koordinatları $x=78,66\text{mm}$ ve $y=28,44\text{mm}$ dir. Yukarıya doğru ayrılan akış iki bina arasında uzun bina (model C) üst çatı bölgesinde bir F_3 girdap oluşturmıştır. Bu girdap merkezinin koordinatları $x=147,63\text{mm}$ ve $y=112,203\text{mm}$ noktasında oluşmuştur. Model C üst sağ köşesinde akış binanın arka bölgesinde daha üst kısımlardan başlayan bir ayrılmış akış oluşturarak bina arkasında F_4 girdabı oluşturmıştır. F_4 girdabının merkezinin koordinatları $x=180,736\text{mm}$ $y=91,93\text{mm}$ olarak ölçülmektedir. Bina yüksekliği fazla olduğu için girdap S_1 noktasına kadar ilerlemiş burada S_1 durma noktası (saddle point) oluşturmıştır. Durma noktası $x=228,73\text{mm}$ $y=50,50\text{mm}$ koordinatlarında oluşmuştur. Akış bu noktadan itibaren dağılmış ve bu noktada kaynak diye adlandırılan bir bölge oluşturmuş ve akışı dağıtmıştır. Bu K kaynak noktası koordinatları da $x=217,704\text{mm}$ $y=3,67\text{mm}$ olarak belirlenmiştir. Şekil 6.13b'de zaman ortalamalı hız alanları $\langle V \rangle$ bina yakınlarında hız vektörlerinde azalma olduğu ve hız vektör uzunluklarında azalması nedeniyle, bu bölgelerde hızlar azalmıştır.

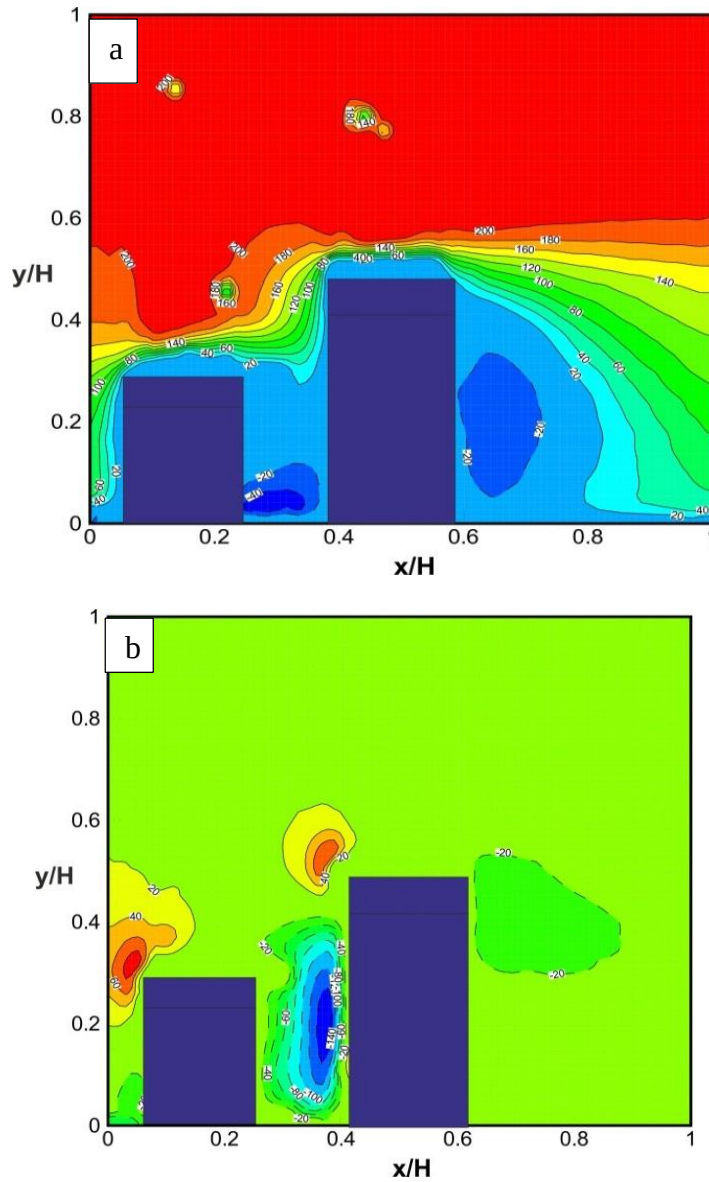
Bina çevresinden uzaklaştıkça hız vektörlerinin bulunduğu alanların arttığı ve hız vektör uzunluklarının artması sebebiyle hız değerleri artmıştır.Özelikle, bina üzerinde oluşan girdap üst bitim noktalarında hızın yükseldiği bölgeleri görebiliriz. Ayrıca binaların arasında bir jet akış oluşmuş olup özellikle binalara yakın bölgelerde hızlar yükselmiştir.



Şekil 6.13 İkili bina modeli için model B ve model C etrafındaki akış için yandan görünüş için $z/h=0,5$ yüzeyindeki zaman ortalama a) akım çizgileri $\langle \psi \rangle$, b) hız dağılımı $\langle V \rangle$, c) girdap eşdeğer eğrileri $\langle \omega \rangle$, minimum ve girdap eşdeğer eğrileri artış değeri $\langle \omega \rangle = \pm 4s^{-1}$ ve $\Delta \langle \omega \rangle = 2s^{-1}$

6.2.2 Ortalama Hızlar

İkili bina modelleri için $z/h = 0,5$ simetri yüzeyi için x ve y yönündeki ortalama eşdeğer hız dağılımları, Şekil 6.14a ve Şekil 6.14b’de gösterilmiştir. Şekil 6.14a’da çatılı kısa(model B) ve çatılı uzun(model C) bina modelleri arasında ve çatılı uzun model arkasında bir ayrılmış akış bölgesi oluşmuştur. Oluşan bu ayrılmış akış bölgeleri $x/H = 0.2-0.38$ arasında ve $x/H=0.68$ noktasına kadar uzanmaktadır. Şekil 5.25b’de çatılı kısa bina ön üst, iki bina arasında ve alt bölgeleri ile bina arka bölgesinde hız profilleri oluşmuştur. Bina ön üst bölgesinde yukarı akış bölgesi oluşmuş olup alt kısmında ise aşağı akış oluşmuştur. Bina arka bölgesinin gerisinde bir aşağı akış alanı oluşmuştur.



Şekil 6.14 İkili bina modeli için model B ve model C etrafındaki akış için $z/h=0,5$ simetri yüzeyi zaman ortalama a) $\langle u \rangle$ hız dağılımı b) $\langle v \rangle$ hız dağılımı

6.1 İkili Olarak Yerleştirilmiş Bina Modelleri Etrafındaki Akış Yapısının Sayısal Olarak İncelenmesi

Sayısal modeller, deneysel ortam şartları kullanılarak oluşturulmuştur. İkili modeller etrafındaki üç boyutlu ayrıntılı akış yapıları, akış hızının 0,193m/sn olması durumu için elde edilmiştir. Türbülans modeli olarak, aerodinamik problemlerde sıkça kullanılan k- ϵ türbülans modeli kullanılmıştır.

Bu kısımda sayısal çalışmalar bina modelleri etrafındaki akış yapısının, x-z düzlemlerindeki ölçümleri y/h=0,5 yüzeyinde olduğu durum için gerçekleştirilmiştir (Şekil 5.1). Ağ yapısı olarak piramit elemanlardan oluşan ve yapısal olmayan ağ yapısı kullanılarak ve model bina çevresi hacim bölgelerinde, yoğun ağ parametreleri kullanılarak daha sık bir ağ yapısı oluşturulmuştur. İkili bina modelleri için kullanılan eleman ve nod sayıları Tablo 6.1’de verilmiştir.

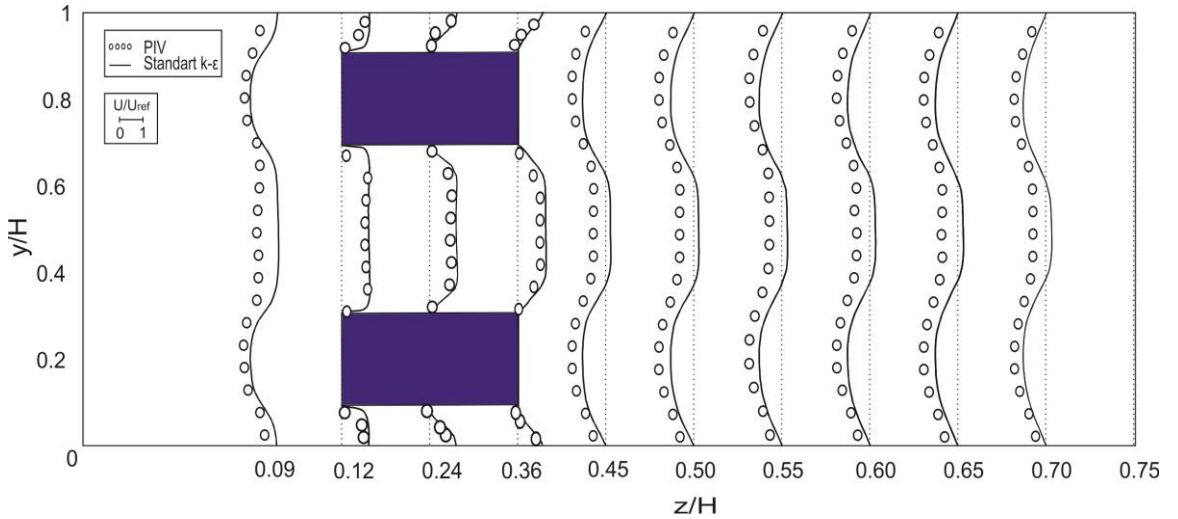
Çizelge 6.1 Sayısal analiz ile kullanılan bina modelleri ve eleman sayıları

Binalar	NOD SAYILARI	ELEMAN SAYILARI
KÜP-KÜP	209636	1034623
KISA-KISA	305802	1596557
KISA-ÇATISIZ	215260	1055156
KISA-UZUN	245167	1174663
UZUN-UZUN	268672	1269086
GENİŞ-UZUN	268833	1263297

Deneysel çalışmalarında kullanılan deney düzeneğinde bina modelleri kanal içerisine yerleştirilen bir sehpa üzerine yerleştirilen Şekil 5.10’da görülen bir tabla üzerinde durmaktadır. Fakat sayısal analiz için bu model oluşturulamamıştır. Sayısal analizde akış şekil 3.22’de gösterildiği gibi verilmiştir. Sınır koşulları deneysel düzeneğe uygun olarak verilmiştir. Sayısal çalışmada deneysel çalışmaya uygun olması açısından akışkan olarak su kullanılmıştır. Önden görünüş açısından özellikle binanın ön, yan ve arka kısmında oluşan akış yapılarının incelenmesi kapsamında sayısal sonuçların deneysel sonuçlarla karşılaştırılması amaçlanmıştır. Deneysel çalışma kısmında, görüntüleme yapılan tüm bina modelleri için sayısal çalışma neticesinde alınan sonuçlar grafik ortamında düzenlenmiştir.

Şekil 6.15’de 5cmx5cmx5cm ebatlarında iki adet çatısız (model A) Şekil 6.2’de şematik olarak verilmiştir. Binaların ön, yan ve özellikle de arka bölgelerinde oluşan

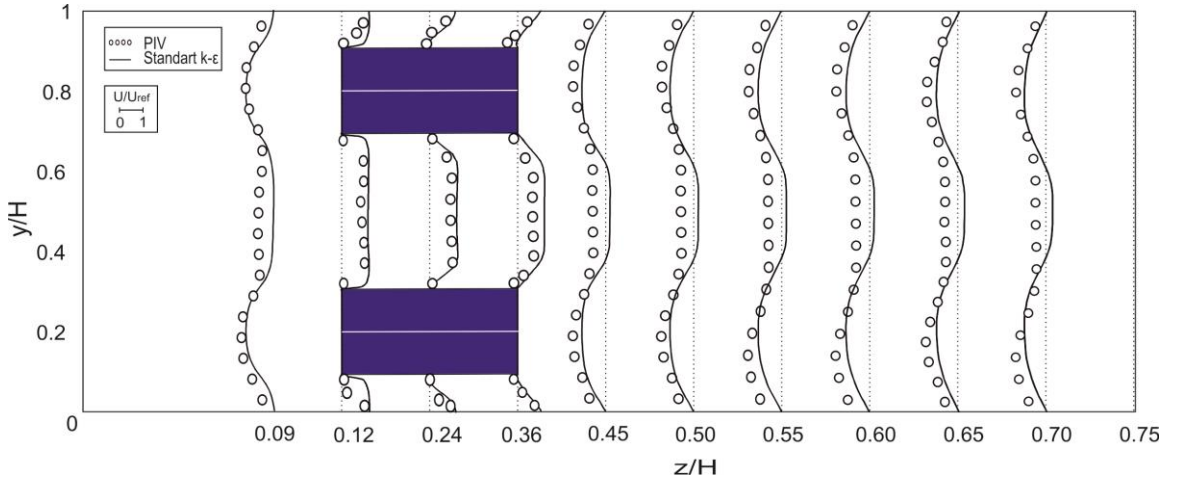
akış yapılarını ve binaların birbirlerine olan mesafelerine göre birbirleriyle olan etkileşimlerini incelemek amaçlanmaktadır. Bu bağlamda; zaman ortalama $\langle u \rangle$ hız bileşeninin kanal yüksekliğine göre değişimi binanın belli bölgeleri için boyutsuz olarak deneysel ve sayısal olarak incelenmiştir. Grafikler incelendiğinde deneysel ve sayısal sonuçlar arasında bazı bölgelerde % 2 farklılık olduğu görülmüştür. Bu farklılıkların özellikle bina üst çatı kısımlarında olduğu, bina ön ve arka kısımlarında farklılığın çok az olduğu görülmektedir. Bu farklılığın sebebinin özellikle bina üst kısımlarında akışın sürekli değişkenlik arz etmesi ve sayısal ile deneysel düzeneklerin tamamen aynı koşullarda oluşturulamamasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Grafiklerde bina yan ve arka bölgeleri özellikle girdap oluşumu hakkında fikir vermektedir. Grafik üzerinde gösterilen binalar skalasız çizilmiştir.



Şekil 6.15 İkili olarak yerleştirilmiş model A için $z/h=0,5$ simetri yüzeyinde $\frac{u}{u_{\infty}}$ hız profilleri

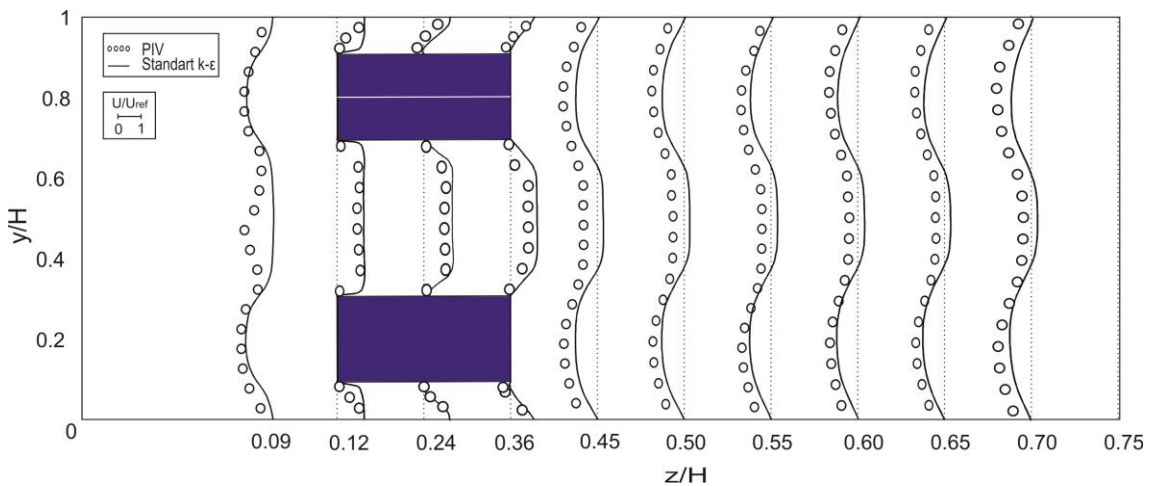
Şekil 6.16 'da model boyutları 5cmx5cmx5cm olarak alınan iki kare kesitli 30° çatı eğimli (model B) bina modelleri çevresindeki akış yapıları incelenmiştir. Binaların ön, yan ve özellikle de arka bölgelerinde oluşan akış yapılarını ve binaların birbirlerine olan mesafelerine göre birbirleriyle olan etkileşimlerini incelemek amaçlanmaktadır. Burada, zaman ortalama $\langle u \rangle$ hız bileşeninin kanal yüksekliğine göre değişimi binanın belli bölgeleri için boyutsuz olarak deneysel ve sayısal olarak incelenmiştir. Grafikler incelendiğinde deneysel ve sayısal sonuçlar arasında bazı bölgelerde % 2 farklılık olduğu görülmüştür. Bu farklılıkların özellikle bina arka kısımlarında olduğu, bina ön kısımlarında farklılığın çok az olduğu görülmektedir.

Bu farklılığın sebebinin özellikle, bina üst kısımlarında akışın sürekli değişkenlik arz etmesi ve sayısal ile deneysel düzeneklerin tamamen aynı koşullarda oluşturulamamasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Grafiklerde bina yan ve arka bölgeleri özellikle girdap oluşumu hakkında fikir vermektedir.



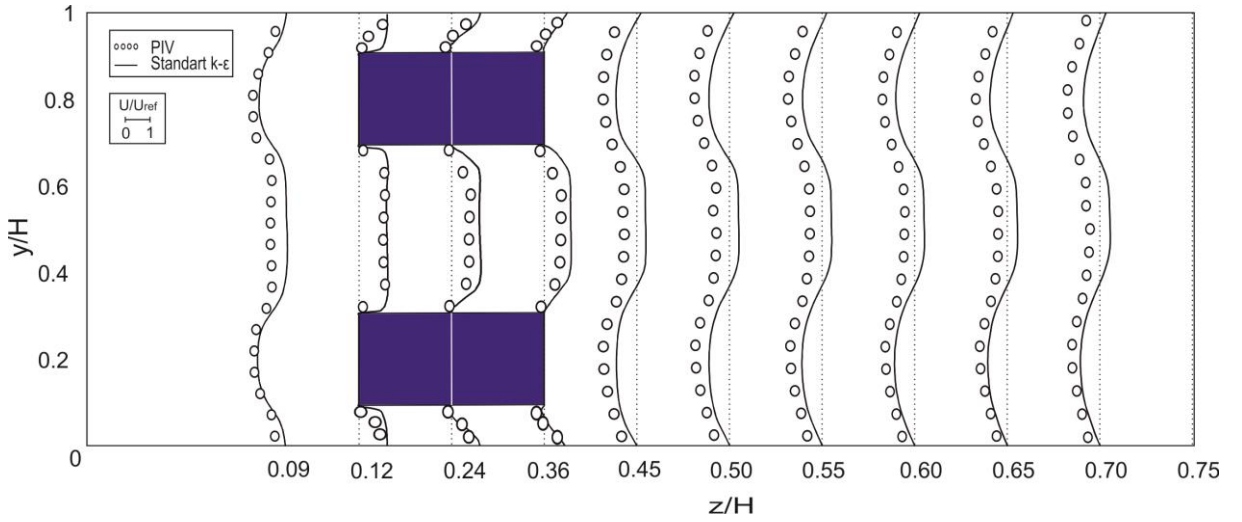
Şekil 6.16 İkili olarak yerleştirilmiş model B için $z/h=0,5$ simetri yüzeyinde $\frac{u}{U_{\infty}}$ hız profilleri

Şekil 6.17’de model boyutları 5cmx5cmx5cm olarak alınan biri çatısız (model A) ve diğeri 30° eğimli çatılı (model B) bina modelleri çevresindeki akış yapıları incelenmiştir. Grafikler incelendiğinde, deneysel ve sayısal sonuçlar arasında bazı bölgelerde % 3 farklılık olduğu görülmüştür. Bina ön kısımlarında ve bina arka kısımlarında farklılık artmaktadır.



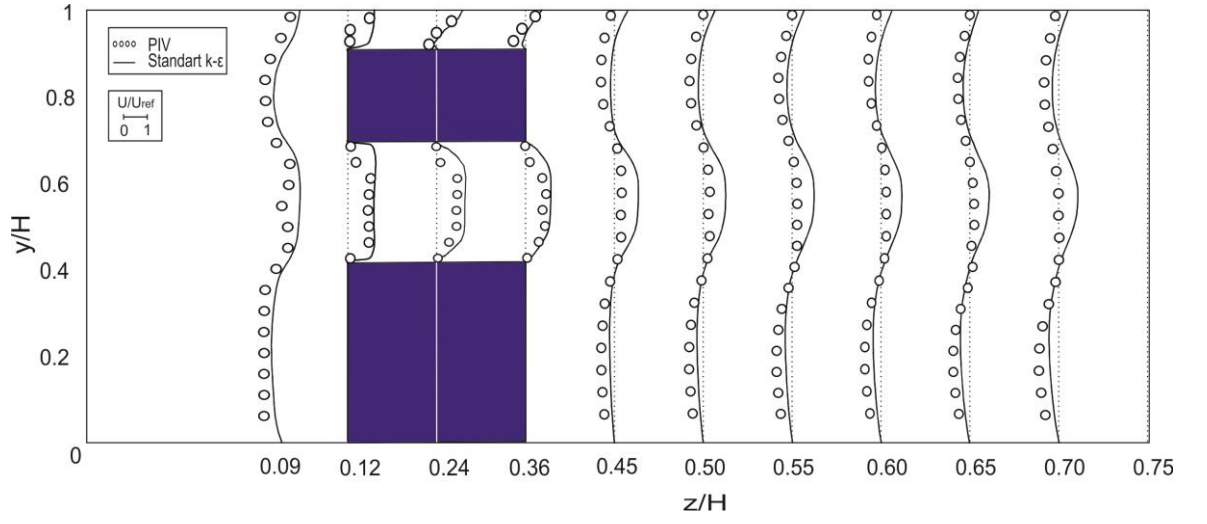
Şekil 6.17 İkili olarak yerleştirilmiş model A ve model B için $z/h=0,5$ simetri yüzeyinde $\frac{u}{U_{\infty}}$ hız profilleri

Şekil 6.18’de model boyutları 5cmx5cmx5cm olan 30° eğimli çatılı (model B) ve model boyutları 5cmx10cmx5cm olan diğeri 30° eğimli çatılı (model C) bina modelleri çevresindeki akış yapıları incelenmiştir. Deneysel ve sayısal sonuçlar arasında bazı bölgelerde % 3 farklılık olduğu görülmüştür. Farklılıkların özellikle ön bölgelerinde ve bina arka bölgelerinde olduğu görülmüştür.



Şekil 6.18 İkili olarak yerleştirilmiş model B ve model C için $z/h=0,5$ simetri yüzeyinde $\frac{u}{U_{\infty}}$ hız profilleri

Şekil 6.19 model boyutları 5cmx10cmx5cm olan 30° eğimli çatılı (model C) ve model boyutları 10cmx5cmx5cm olan diğeri 30° eğimli çatılı (model D) bina modelleri çevresindeki akış yapıları incelenmiştir. Deneysel ve sayısal sonuçlar arasında bazı bölgelerde %2 farklılık olduğu görülmüştür. Farklılıklar bina arka bölgelerinde olduğu görülmüştür. İki bina arasındaki mesafenin azalması nedeniyle oluşan jet akış hızı $\frac{u}{U_{\infty}} = 0,12$ ve $\frac{u}{U_{\infty}} = 0,45$ arasındaki bölgede artmaktadır.



Şekil 6.19 İkili olarak yerleştirilmiş model C ve model D için $z/h=0,5$ simetri yüzeyinde $\frac{u}{U_{\infty}}$ hız profilleri

7. ÜÇLÜ OLARAK YERLEŞTİRİLMİŞ BİNA MODELLERİ ETRAFINDAKİ AKIŞ YAPISININ DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ

7.1 Giriş

Üniform bir akış alanına yerleştirilen; birden fazla binanın akış oluşum ve dolayısıyla aerodinamik karakteristikleri, tek bir binadaki akış oluşumundan önemli ölçüde farklı olmakla birlikte akış da karmaşık hale gelmektedir. Birden fazla binaların birbirlerine göre konumlarına bağlı olarak değişimleri konusunda birçok çalışma bulunmaktadır. Literatürde yan yana veya art arda sıralandırılmış binalara sıkça karşılaşılmamasına karşılık çapraz bina yerleşimleri çok az sayıdadır.

7.2 Üçlü Olarak Yerleştirilmiş Bina Modeller Etrafındaki Akış Yapısının Deneysel Üst Görünüş Ölçümleri

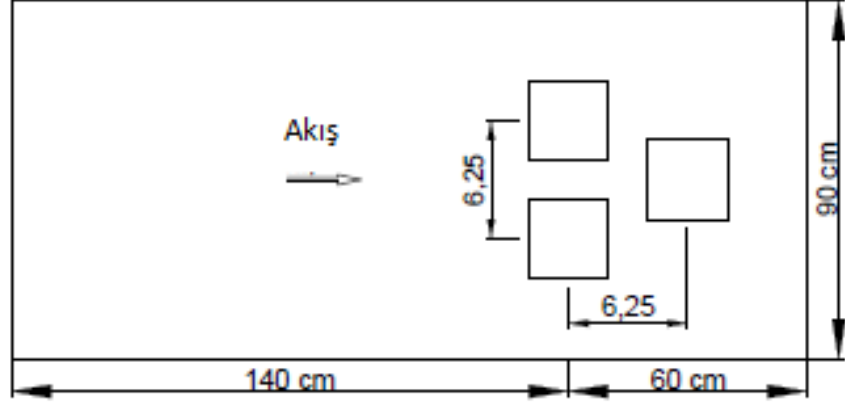
Bina modelleri etrafındaki akış yapısının, $x-z$ düzlemlerindeki ölçümleri $y/h=0,5$ yüzeylerinde gerçekleştirilmiştir. (Şekil 5.1)

7.2.1 Genel Akış Yapısı

Bu bölümde, model bölüm 5’de tek olarak yerleştirilen bina modelleri üçlü çapraz olarak Şekil 7.2’de görüldüğü gibi yerleştirilmiştir. Bina merkezleri arası üç farklı mesafe değişimi için alınmıştır. Şekil 7.1’de deney düzeneği üzerinde üç geniş binanın yerleşimi gösterilmiştir.



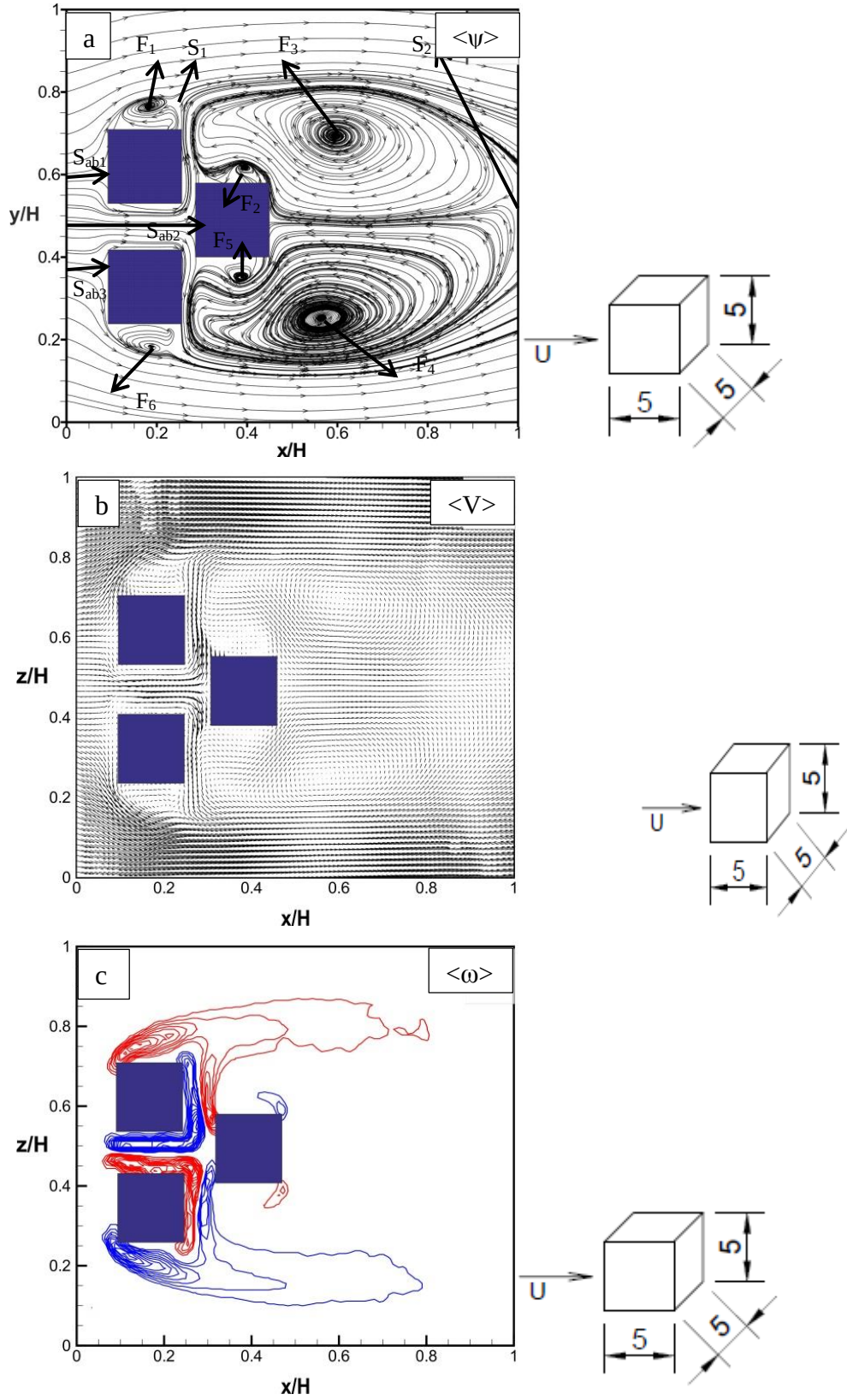
Şekil 7.1 Deney düzeneği üzerinde üç model yerleşimi



Şekil 7.2 Üç bina modelinin şematik görünüşleri

Şekil 7.2de şematik olarak gösterilen 5cmx5cmx5cm ebatlarında üç adet çatısız (model A) bina modeli, kanal içerisindeki plaka üzerine bina merkezleri arası mesafenin 6.25cm olduğu durum için çapraz yerleştirilerek akış yapıları incelenmiştir. Şekil.7 3’de görüldüğü gibi binaların yan kısımlarında ve bina arkalarındaki girdaplar incelendiğinde birbirine simetrik bir yapıda oldukları görülmüştür. Üst bina modelinde, bina ön yüzeyinden S_{ab1} noktasından yukarı ayrılan akış için model yan-sol köşesinden ayrılarak bir F_1 girdap bölgesi oluşturmaktadır. Bu girdap merkezinin koordinatları $x=57,05\text{mm}$ ve $z=179,52\text{mm}$ noktasındadır (Şekil.7 3a). Bu girdap merkezinin sağ tarafında $x=79,04\text{mm}$ ve $z=181,262\text{mm}$ noktasında durma noktası S_1 noktası oluşmuştur. Aşağıya doğru ayrılan akış, model yan sağ köşesinden ayrılmadan yukarıya doğru akışına devam etmiştir. Bu nedenle yüzey üzerinde ayrılmış akışa sahip bir ikincil akış bölgesi oluşmamaktadır. Üst bina ile alt bina arasında mesafe çok kısa olduğundan dolayı burada jet akış oluşmuştur. İki bina arasında oluşan jet akış, yüksek hızla arkadaki binaya çarparak S_{ab2} noktasından aşağı ve yukarı ayrılmıştır. Yukarıya doğru ayrılan akış, binanın yan sol köşesinden ayrılarak F_2 girdap bölgesini oluşturmuştur. Bu girdap merkezinin koordinatları $x=122,35\text{mm}$ ve $z=144,21\text{mm}$ noktasındadır. Üst bina arkasındaki akış yapısı incelendiğinde, jet akış etkisiyle binanın yan sağ tarafından yukarı doğru yönlendirilmiş akışla, binanın yan sol tarafından tekrar tutunan akışla birleşmiştir. Üst bina arkasında F_2 girdap bölgesinin yukarısında F_3 girdap bölgesi oluşmuştur. Bu girdap merkezinin koordinatları $x=188,44\text{mm}$ ve $z=162,74\text{mm}$ noktasında olup saat yönünde dönmektedir. Burada girdap eşdeğer eğrileri kırmızı renktedir. (Şekil 7.3c). Arka binanın alt kısmında F_3 girdabına simetrik olan F_4 girdabı oluşmuştur. Girdap merkezinin koordinatları $x=179,181\text{mm}$ ve $z=57,97\text{mm}$ noktasındadır. Bu iki

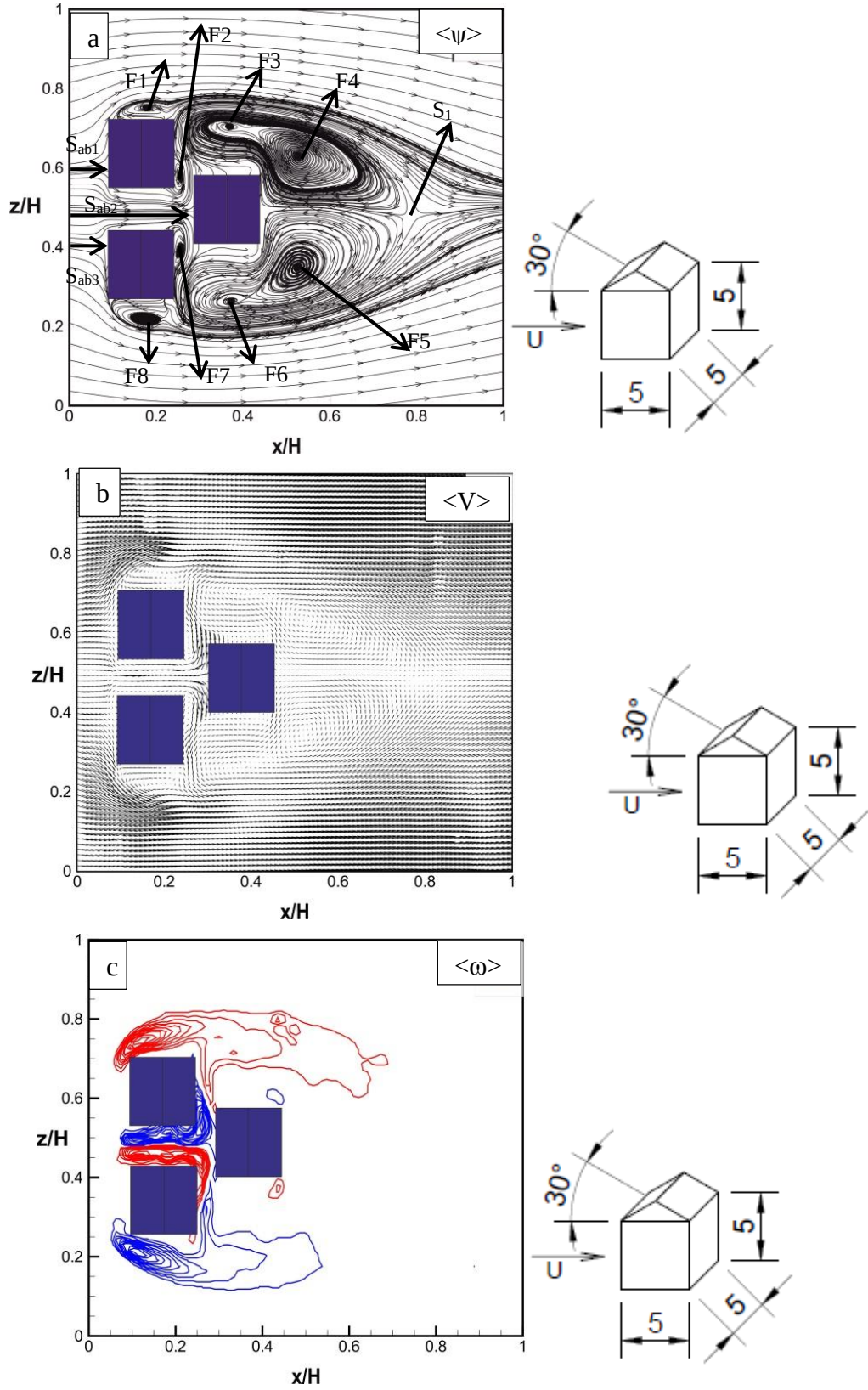
girdabın uzunluğu eşit olup 228,05mm kalınlığı ise 81,61mm olarak belirlenmiştir. Durma noktası S_2 eyer noktası $x= 314,04\text{mm}$ ve $z= 125,69\text{mm}$ olarak belirlenmiştir. Arka binanın S_{ab2} noktasından aşağı ayrılan akış yukarı tarafa ayrılan akışta olduğu gibi bir girdap bölgesi oluşturmuştur. F_5 girdabı olarak adlandırılan bu girdap F_2 girdabıyla x doğrultusunda aynı merkezde oluşmuş olup $x=122,35\text{mm}$ ve $z= 81,70\text{mm}$ noktasındadır. Alt tarafa yerleştirilen bina modelinde S_{ab3} noktasından aşağı ve yukarı ayrılan akış, üst taraftaki bina modelinin akış yapısına benzer olup aşağı ayrılan akış bina yan sağ köşesinden ayrılarak F_6 girdap bölgesini oluşturmuştur. Bu girdap merkezinin koordinatları $x= 58,78\text{mm}$ ve $z=42,96\text{mm}$ noktasındadır. Şekil 7.3b’de ölçüm sonucu elde edilen 7326(99x74) adet vektör gösterilmiştir. Zaman ortalımalı hız alanları $\langle V \rangle$ bina yakınlarında hız vektörlerinde azalma olduğu ve hız vektör uzunluklarında azalması nedeniyle, bu bölgelerde hızlar azalmıştır. Bina çevresinden uzaklaştıkça hız vektörlerinin bulunduğu alanların arttığı ve hız vektör uzunluklarının artması sebebiyle hız değeri artmıştır. Özellikle bina üzerinde oluşan girdap üst bitim noktalarında hızın yükseldiği bölgeleri görebiliriz. Ayrıca binaların arasında bir jet akış oluşmuş olup özellikle iki bina arasındaki bölgelerde hızların yükseldiği görülmüştür.



Şekil 7.3 Üçlü yerleştirilmiş (model A) bina modelleri etrafındaki akış $y/h=0,5$ yüzeyindeki zaman ortalama a) akım çizgileri $\langle \psi \rangle$, b) hız dağılımı $\langle V \rangle$, c) girdap eşdeğer eğrileri $\langle \omega \rangle$, minimum ve girdap eşdeğer artış değeri $\langle \omega \rangle_{\min} = \pm 4s^{-1}$ ve $\Delta \langle \omega \rangle = 2s^{-1}$

Şekil 7.4’de 5cmx5cmx5cm ebatlarında üç adet 30° çatı eğimli kısa (model B) bina modelleri kanal içerisindeki plaka üzerine bina merkezleri arası mesafenin 6.25cm olduğu durum için çapraz yerleştirilerek akış yapıları incelenmiştir. Şekil.7.4a’da görüldüğü gibi binaların yan kısımlarında ve bina arkalarındaki girdaplar incelendiğinde, birbirine simetrik bir yapıda oldukları görülmüştür. Üçlü yerleştirilen çatısız model (model A) ile girdap yapıları incelendiğinde birbirinden farklı akış yapıları oluşmuştur. Çatısız modellerde üst ve alt kısma yerleştirilen bina arkalarında bir girdap yapısı oluşmamıştır. Arka kısma yerleştirilen bina yan yüzeylerinde küçük girdap bölgeleri oluşmuştur. Bununla birlikte arka tarafta oluşan girdaplar bölünmeden oluşmuştur. Üst bina modelinde bina ön yüzeyinden S_{ab1} noktasından yukarı ayrılan akış model yan-sol köşesinden ayrılarak bir F_1 girdap bölgesi oluşturmaktadır. Bu girdap merkezinin koordinatları $x=55,89\text{mm}$ ve $z=176,28\text{mm}$ noktasındadır. Aşağıya doğru ayrılan akış, model yan sağ köşesinden yukarıya doğru yönlendirilmiştir. Bina arka kısmında çatı kısmından dolayı ikincil bir ayrılmış akış oluşturmıştır. Bu girdap F_2 saatin tersi yönünde dönmekte olup, merkezinin koordinatları $x= 80,93\text{mm}$ ve $z=135,18\text{mm}$ noktasındadır. Şekil 7.3’de incelenen çatısız üçlü binalarda (model A) girdap arka binanın üstünde oluşurken bu bina modellerinde girdap üst ve alt binaların hemen arka kısımlarında oluşmuştur. Üst bina ile alt bina arasında mesafe çok kısa olduğundan dolayı jet akış oluşmuştur. İki bina arasında oluşan jet akış, yüksek hızla arkadaki binaya çarparak S_{ab2} noktasından aşağıya doğru ve yukarıya doğru ayrılmıştır. Üst bina arkasındaki akış yapısı incelendiğinde; jet akış etkisiyle binanın yan sağ tarafından yukarıya doğru yönlendirilmiş akışla, binanın yan sol tarafından tekrar tutunan akışla birleşmiştir. Üst bina arkasında ve arka bina üst yan kısmından başlayıp bina arkasına kadar yayılan büyük bir girdap bölgesi oluşmuştur. Büyük bir girdap bölgesi oluştuğu için girdap kendi içerisinde ikiye ayrılmıştır. Arka bina üst kısmında oluşan küçük girdap F_3 merkezinin koordinatları $x=117,248\text{mm}$ ve $z=164,94\text{mm}$ noktasında olup saat yönünde dönmektedir. Burada oluşan büyük girdap F_4 merkezi $x=188,44\text{mm}$ ve $z=162,74\text{mm}$ noktasında olup saat yönünde dönmektedir. Şekil 7.4’de arka binanın alt yan kısmında F_3 ve F_4 girdabına simetrik olan F_6 ve F_5 girdabı oluşmuştur. Büyük olan F_5 girdap merkezinin koordinatları $x=179,181\text{mm}$ ve $z=57,97\text{mm}$ noktasındadır. Büyük girdaptan ayrılan küçük F_6 girdap merkezi F_3 girdap merkezinin x koordinatı ile aynı olup $x=117,248\text{mm}$ ve $y=61,48\text{mm}$ noktasındadır. Bu iki girdabın uzunluğu

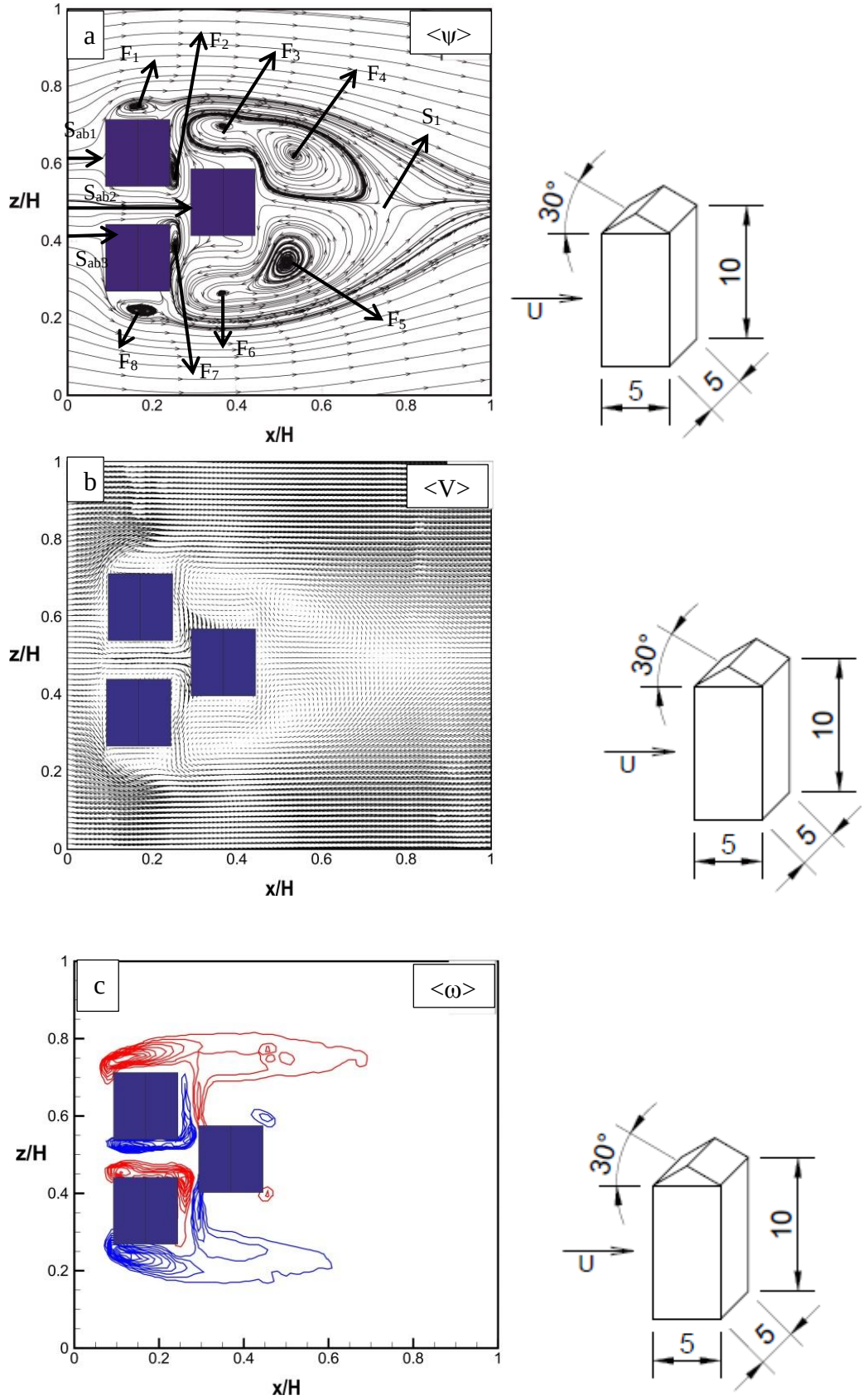
eşit olup 160,33mm olarak belirlenmiştir. Durma noktası S_1 noktası $x= 248,36\text{mm}$ ve $z= 112,50\text{mm}$ olarak belirlenmiştir. Arka binanın S_{ab2} noktasından aşağı ayrılan akış yukarı tarafa ayrılan akışta olduğu gibi bir girdap bölgesi oluşturmuştur. F_7 girdabı olarak adlandırılan bu girdap F_2 girdabıyla x doğrultusunda aynı merkezde oluşmuş olup $x=80,93\text{mm}$ ve $z= 92,19\text{mm}$ noktasındadır. Alt tarafa yerleştirilen bina modelinde S_{ab3} noktasından aşağı ve yukarı ayrılan akış; üst taraftaki bina modelinin akış yapısına benzer olup, aşağı ayrılan akış bina yan sağ köşesinden ayrılarak F_8 girdap bölgesini oluşturmuştur. Bu girdap merkezinin koordinatları $x= 55,31\text{mm}$ ve $z=50,62\text{mm}$ noktasındadır. Şekil 7.4b’de ölçüm sonucu elde edilen zaman ortalamalı hız alanları $\langle V \rangle$ bina yakınlarında hız vektörlerinde azalma olduğu ve hız vektör uzunluklarında azalması nedeniyle, bu bölgelerde hızlar azalmıştır. Bina çevresinden uzaklaştıkça hız vektörlerinin bulunduğu alanların arttığı ve hız vektör uzunluklarının artması sebebiyle hız değerleri artmıştır. Özellikle bina üzerinde oluşan girdap üst bitim noktalarında hızın yükseldiği bölgeleri görebiliriz. Ayrıca binaların arasında bir jet akış oluşmuş olup özellikle, iki bina arasındaki bölgelerde hızların yükseldiği görülmüştür.



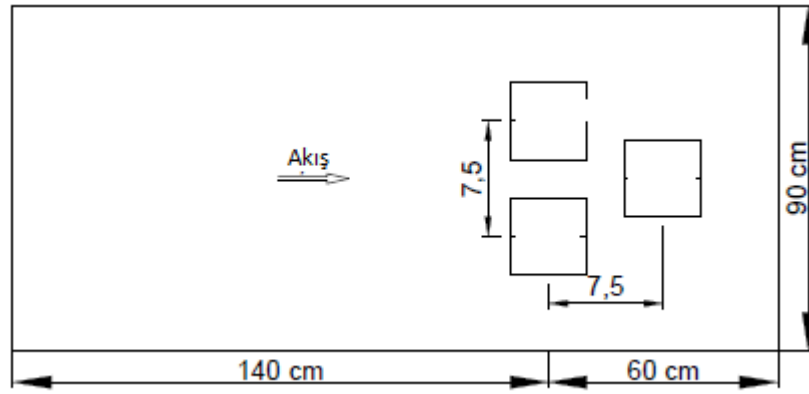
Şekil 7.4 Üçlü yerleştirilmiş (model B) bina modelleri etrafındaki akış $y/h=0.5$ yüzeyindeki zaman ortalama a) akım çizgileri $\langle \psi \rangle$, b) hız dağılımı $\langle V \rangle$, c) girdap eşdeğer eğrileri $\langle \omega \rangle$, minimum ve girdap eşdeğer eğrileri artış değeri $\langle \omega_{\min} \rangle = \pm 4s^{-1}$ ve $\Delta \langle \omega \rangle = 2s^{-1}$

Şekil 7.5'de 5cmx10cmx5cm ebatlarında üç adet dikdörtgen kesitli (model C) 30° çatı eğimli bina modelleri kanal içerisindeki plaka üzerine bina merkezleri arası mesafenin 6.25cm olduğu durum için çapraz yerleştirilerek akış yapıları incelenmiştir. Şekil 7.5a'da görüldüğü gibi binaların yan kısımlarında ve bina arkalarındaki girdaplar incelendiğinde, birbirine simetrik bir yapıda oldukları görülmüştür. Üçlü yerleştirilen çatılı kısa model (model B) ile girdap yapıları incelendiğinde benzerlik gösterdiği görülmüştür. Üst bina modelinde bina ön yüzeyinden S_{ab1} noktasından yukarıya doğru ayrılan akış için model yan-sol köşesinden ayrılarak bir F_1 girdap bölgesi oluşturmaktadır. Bu girdap merkezinin koordinatları $x=50,10\text{mm}$ ve $z=174,39\text{mm}$ noktasındadır. Aşağı ayrılan akış model yan sağ köşesinden yukarıya doğru yönlendirilmiştir. Bina arka kısmında çatı kısmından dolayı ikincil bir ayrılmış akış oluşturmuştur. Bu girdap F_2 saatin tersi yönünde dönmekte olup merkezi $x=78,46\text{mm}$ ve $z=135,65\text{mm}$ noktasındadır. Üst bina ile alt bina arasında mesafe çok kısa olduğundan dolayı jet akış oluşmuştur. İki bina arasında oluşan jet akış yüksek hızla arkadaki binaya çarparak S_{ab2} noktasından aşağı ve yukarı ayrılmıştır. Üst bina arkasındaki akış yapısı incelendiğinde, jet akış etkisiyle binanın yan sağ tarafından yukarı doğru yönlendirilmiş akışla, binanın yan sol tarafından tekrar tutunan akışla birleşmiştir. Üst bina arkasında ve arka bina üst yan kısmından başlayıp bina arkasına kadar yayılan büyük bir girdap bölgesi oluşmuştur. Büyük bir girdap bölgesi olduğu için girdap kendi içerisinde ikiye ayrılmıştır. Arka bina üst kısmında oluşan küçük girdap F_3 merkezi koordinatları $x=117,24\text{mm}$ ve $z=163,94\text{mm}$ noktasında olup saat yönünde dönmektedir. Burada oluşan büyük girdap F_4 merkezi $x=168,74\text{mm}$ ve $z=145,74\text{mm}$ noktasında olup saat yönünde dönmektedir. Şekil 7.5c'de arka binanın alt yan kısmında F_3 ve F_4 girdabına simetrik olan F_6 ve F_5 girdabı oluşmuştur. Büyük olan F_5 girdap merkezi $x=162,97\text{mm}$ ve $z=80,37\text{mm}$ noktasındadır. Büyük girdaptan ayrılan küçük F_6 girdap merkezi F_3 girdap merkezinin x koordinatı ile aynı olup $x=117,24\text{mm}$ ve $y=61,48\text{mm}$ noktasındadır. Bu iki girdabın uzunluğu eşit olup $149,93\text{mm}$ olarak belirlenmiştir. Durma noktası S_1 noktası $x=237,64\text{mm}$ ve $z=114,87\text{mm}$ olarak belirlenmiştir. Arka binanın S_{ab2} noktasından aşağı ayrılan akış yukarı tarafa ayrılan akışta olduğu gibi bir girdap bölgesi oluşturmıştır. F_7 girdabı olarak adlandırılan bu girdap F_2 girdabıyla x doğrultusunda aynı merkezde oluşmuş olup $x=78,46\text{mm}$ ve $z=135,65\text{mm}$ noktasındadır. Alt tarafa yerleştirilen bina modelinde S_{ab3} noktasından aşağı ve yukarı ayrılan akış; üst taraftaki bina modelinin akış yapısına benzer olup,

aşağı ayrılan akış bina yan sağ köşesinden ayrılarak F_8 girdap bölgesini oluşturmuştur. Bu girdap merkezinin koordinatları $x= 54,731\text{mm}$ ve $z=51,56\text{mm}$ noktasındadır. Şekil 7.5b’de ölçüm sonucu elde edilen zaman ortalamalı hız alanları $\langle V \rangle$ bina yakınlarında hız vektörlerinde azalma olduğu ve hız vektör uzunluklarının azalması nedeniyle, bu bölgelerde hızlar azalmıştır. Bina çevresinden uzaklaştıkça hız vektörlerinin bulunduğu alanların arttığı ve hız vektör uzunluklarının artması sebebiyle hız değerleri artmıştır. Özellikle bina üzerinde oluşan girdap üst bitim noktalarında hızın yükseldiği bölgeleri görebiliriz. Ayrıca binaların arasında bir jet akış oluşmuş olup özellikle iki bina arasındaki bölgelerde hızların yükseldiği görülmüştür.



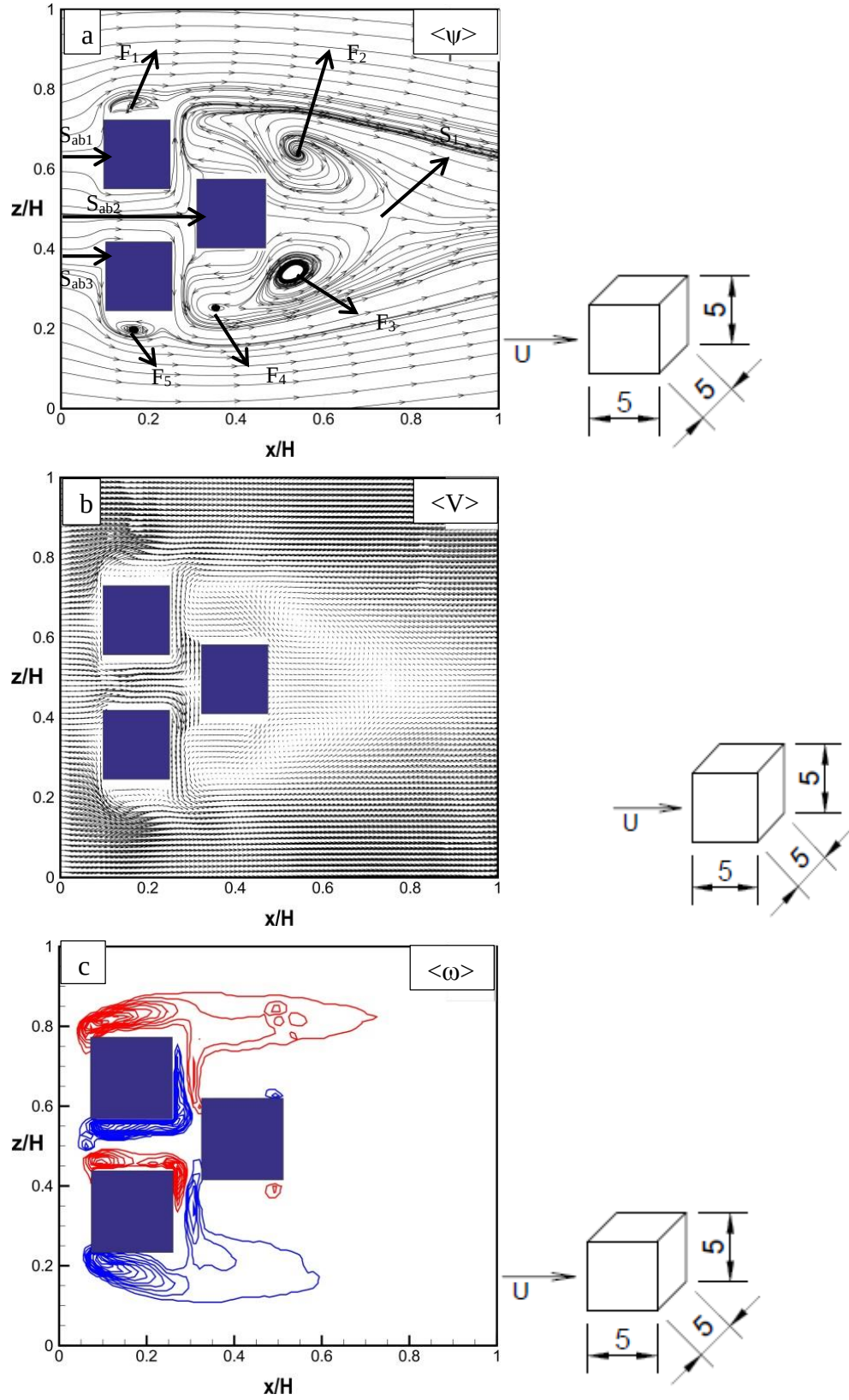
Şekil 7.5 Üçlü yerleştirilmiş (model C) bina modelleri etrafındaki akış $y/h=0.5$ yüzeyindeki zaman ortalamalı a) akım çizgileri $\langle \psi \rangle$, b) hız dağılımı $\langle V \rangle$, c) girdap eşdeğer eğrileri $\langle \omega \rangle$, minimum ve girdap eşdeğer eğrileri artış değeri $\langle \omega \rangle_{\min} = \pm 4s^{-1}$ ve $\Delta \langle \omega \rangle = 2s^{-1}$



Şekil 7.6 Üçlü bina yerleşimi için binalar arası mesafenin 7,5cm olması durumunda şematik gösterim

Şekil 7.6'da şematik olarak gösterilen 5cmx5cmx5cm ebatlarında üç adet çatısız (model A) bina modeli, kanal içerisindeki plaka üzerine bina merkezleri arası mesafenin 7,5cm olduğu durum için çapraz yerleştirilerek akış yapıları incelenmiştir. Şekil 7.7'de görüldüğü gibi binaların yan kısımlarında ve bina arkalarındaki girdaplar incelendiğinde, birbirine simetrik bir yapıda olmadıkları dikkat çekmektedir. Şekil 7.3'de üçlü yerleştirilmiş çatısız bina (model A) için mesafenin 6,25cm olduğu durumdaki akış yapısı ile tamamen farklılık gösterdiği görülmüştür. Mesafenin 6,25cm olduğu durumdaki akış yapısında bina arkalarındaki girdap yapısının %35,53 büyük olduğu ve arka bina yan yüzeylerinde oluşan girdap bölgeleri oluşmamıştır. Üst bina modelinde bina ön yüzeyinden S_{ab1} noktasından yukarı ayrılan akış için model yan-sol köşesinden ayrılarak düzensiz bir F_1 girdap bölgesi oluşturmaktadır. Bu girdap merkezinin koordinatları $x=50,65\text{mm}$ ve $z=179,52\text{mm}$ noktasındadır. Aşağıya doğru ayrılan akış, model yan sağ köşesinden ayrılmadan yukarıya doğru akışına devam etmiştir. Bu nedenle yüzey üzerinde ayrılmış akışa sahip bir ikincil akış bölgesi oluşmamaktadır. Üst bina ile alt bina arasında mesafe kısa olduğundan dolayı burada jet akış oluşmuştur. İki bina arasında oluşan jet akış yüksek hızla arkadaki binaya çarparak S_{ab2} noktasından aşağı ve yukarı ayrılmıştır. Üst bina arkasındaki akış yapısı incelendiğinde; jet akış etkisiyle binanın yan sağ tarafından yukarı doğru yönlenmiş akışla, binanın yan sol tarafından tekrar tutunan akışla birleşmiştir. Ayrılan akış kısından itibaren bir girdap oluşturmuştur. Bu girdap merkezi $x=171,06\text{mm}$ ve $z=148,41\text{mm}$ noktasında olup saat yönünde dönmektedir. Şekil 7.7c'de arka binanın alt kısmında F_2 girdabına simetrik olmayan bir girdap bölgesi oluşmuş bu girdap bölgesi bölünerek büyük F_3 ve devamında küçük F_4 bir girdap bölgesi oluşturmuştur. Büyük F_3 girdap

merkezinin koordinatları $x=167,00\text{mm}$ ve $z=79,92\text{mm}$ noktasındadır. Küçük F_4 girdap ise $x=110,87\text{mm}$ ve $z=59,12\text{mm}$ noktasındadır. Simetrik olarak oluşmayan bu iki girdap arasındaki durma noktası S_1 noktası $x=232,98\text{mm}$ ve $z=116,28\text{mm}$ olarak belirlenmiştir. Bu girdap uzunlukları $145,53\text{mm}$ olarak belirlenmiştir. Alt tarafa yerleştirilen bina modelinde S_{ab3} noktasından aşağıya doğru ve yukarıya doğru ayrılan akış, üst taraftaki bina modelinin akış yapısına benzer olup aşağı ayrılan akış bina yan sağ köşesinden ayrılarak F_5 girdap bölgesini oluşturmuştur. Bu girdap merkezinin koordinatları $x=52,99\text{mm}$ ve $z=45,89\text{mm}$ noktasındadır. Şekil 7.7b’de ölçüm sonucu elde edilen $7326(99 \times 74)$ adet vektör gösterilmiştir. Zaman ortalamalı hız alanları $\langle V \rangle$ bina yakınlarında hız vektörlerinde azalma olduğu ve hız vektör uzunluklarında azalması nedeniyle, bu bölgelerde hızlar azalmıştır. Bina çevresinden uzaklaştıkça hız vektörlerinin bulunduğu alanların arttığı ve hız vektör uzunluklarının artması sebebiyle hız değerleri artmıştır. Özellikle bina üzerinde oluşan girdap üst bitim noktalarında hızın yükseldiği bölgeleri görebiliriz.

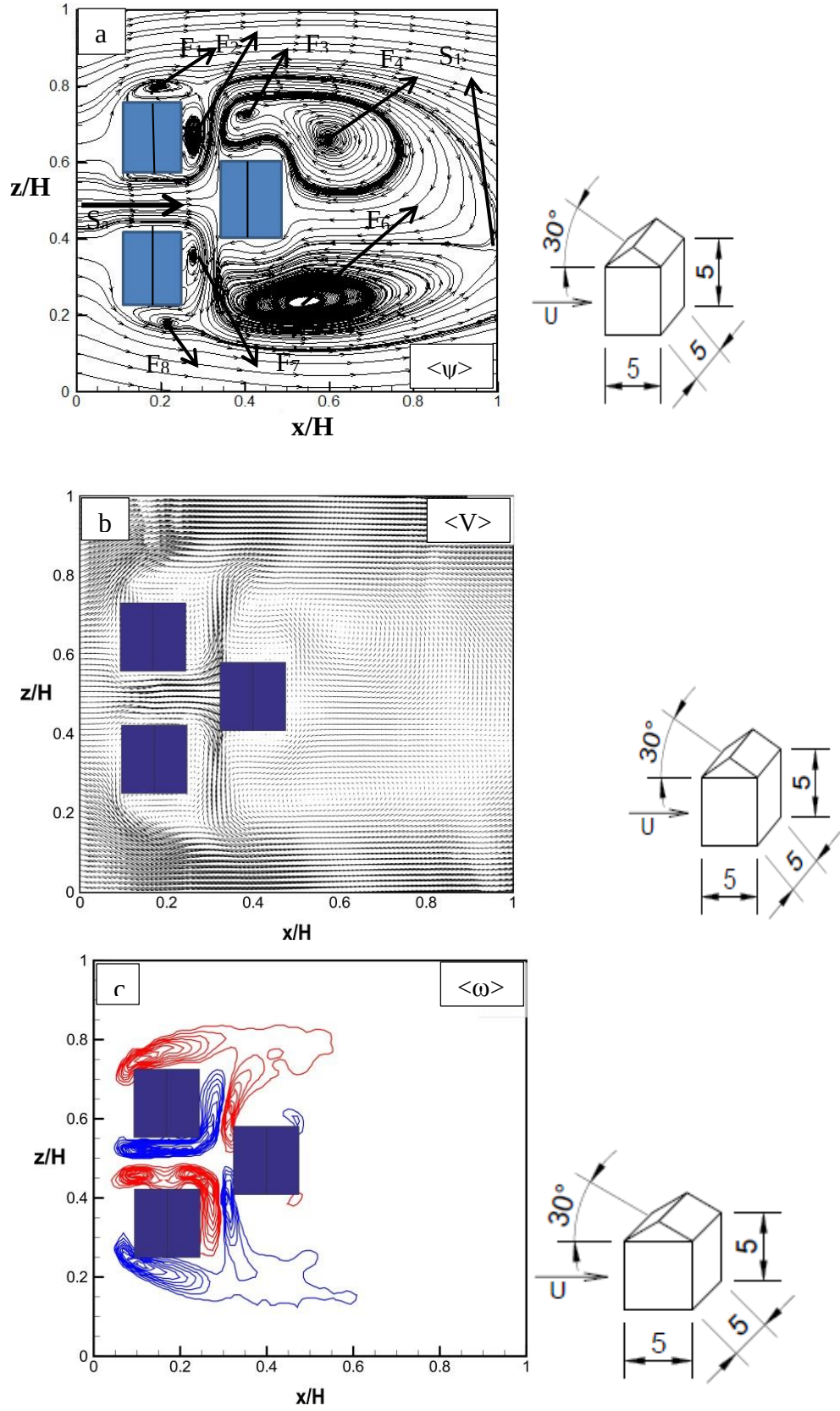


Şekil 7.7 Üçlü yerleştirilmiş (model A) bina modelleri etrafındaki akış $y/h=0.5$ yüzeyindeki zaman ortalama a) akım çizgileri $\langle \psi \rangle$, b) hız dağılımı $\langle V \rangle$, c) girdap eşdeğer eğrileri $\langle \omega \rangle$, minimum ve girdap eşdeğer eğrileri artış değeri $\langle \omega \rangle_{\min} = \pm 4s^{-1}$ ve $\Delta \langle \omega \rangle = 2s^{-1}$

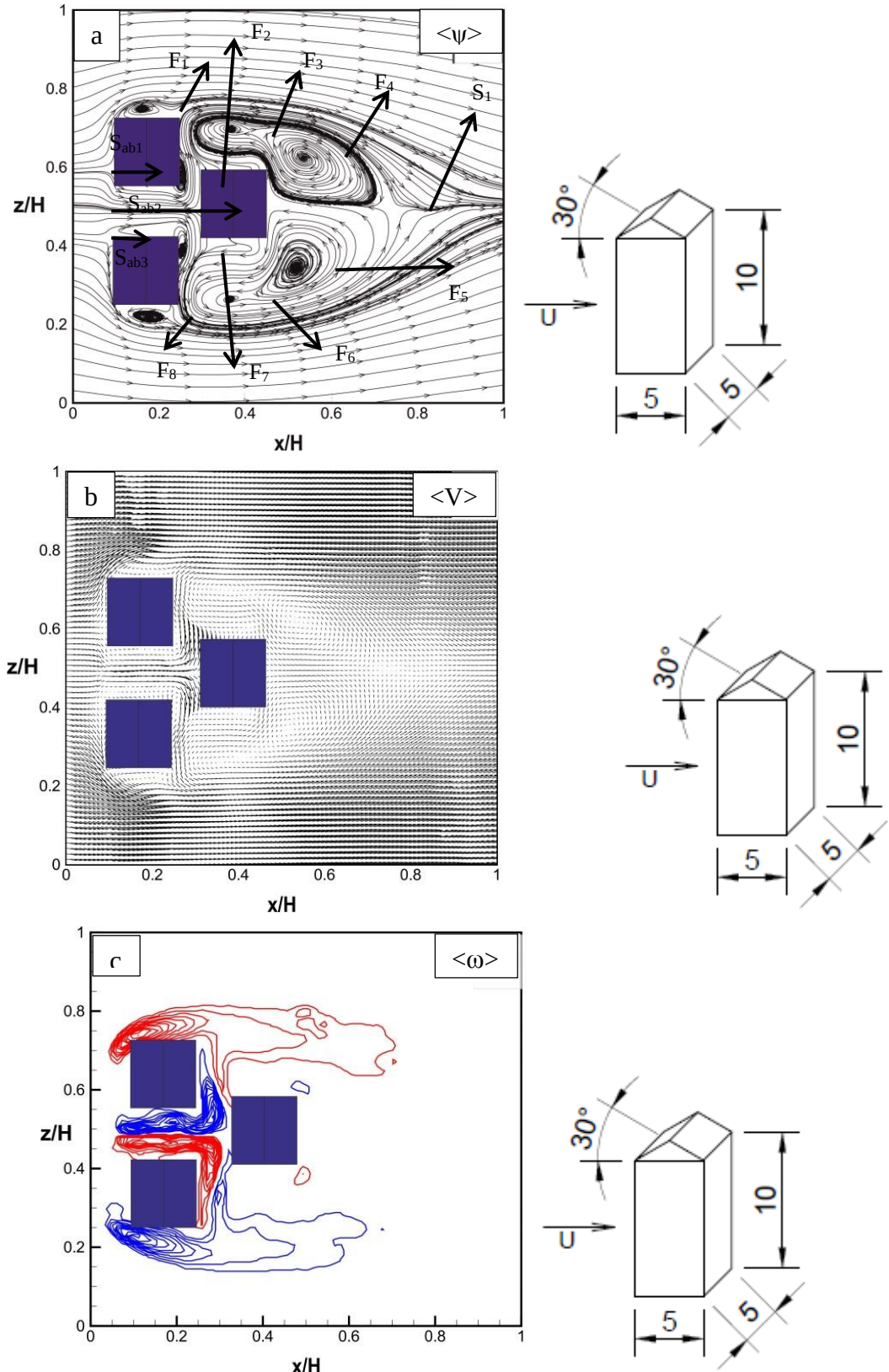
Şekil 7.8'de 5cmx5cmx5cm ebatlarında üç adet 30° çatı eğimli kısa (model B) bina modelleri, kanal içerisindeki plaka üzerine bina merkezleri arası mesafenin 7,5cm olduğu durum için çapraz yerleştirilerek akış yapıları incelenmiştir. Şekil.7.8a'da görüldüğü gibi binaların yan kısımlarında ve bina arkalarındaki girdaplar incelendiğinde, birbirine simetrik bir yapıda olmadıkları görülmüştür. Şekil 7.4'de üçlü yerleştirilmiş 30° çatı eğimli bina (model B) için mesafenin 6,25cm olduğu durumdaki akış yapısı ile tamamen farklılık gösterdiği görülmüştür. Mesafenin 6,25cm olduğu durumdaki akış yapısında bina arkalarındaki girdap yapısının simetrik bir yapıda olduğu ve arka bina yan yüzeylerinde küçük girdap bölgelerinin olduğu görülmektedir. Üst bina modelinde bina ön yüzeyinden S_{ab1} noktasından yukarı ayrılan akış için model yan-sol köşesinden ayrılarak bir F_1 girdap bölgesi oluşturmaktadır. Bu girdap merkezinin koordinatları $x=61,68\text{mm}$ ve $z=186,67\text{mm}$ noktasındadır. Aşağıya doğru ayrılan akış model yan sağ köşesinden yukarıya doğru yönlendirilmiştir. Bina arka kısmında çatı kısmından dolayı ikincil bir ayrılmış akış oluşturmuştur. Bu girdap F_2 saatin tersi yönünde dönmekte olup merkezi $x=87,72\text{mm}$ ve $z=157,38\text{mm}$ noktasındadır. Üst bina ile alt bina arasında mesafe kısa olduğundan dolayı jet akış oluşmuştur. İki bina arasında oluşan jet akış yüksek hızla arkadaki binaya çarparak S_{ab2} noktasından aşağıya doğru ve yukarıya doğru ayrılmıştır. Üst bina arkasındaki akış yapısı incelendiğinde; jet akış etkisiyle binanın yan sağ tarafından yukarı doğru yönlendirilmiş akışla, binanın yan sol tarafından tekrar tutunan akışla birleşmiştir. Üçlü yerleştirilmiş 30° çatı eğimli bina (model B) için mesafenin 6,25cm olduğu durumdaki akış yapısından farklı olarak arka bina yan alt ve üst kısımlarında küçük girdap bölgeleri oluşmuştur. Üst kısımda oluşan F_3 girdap merkezi $x=144,45\text{mm}$ ve $z=145,57\text{mm}$ olarak belirlenmiş olup saatin tersi yönde dönmektedir. Alt kısımda oluşan F_6 girdap merkezi $x=140,4\text{mm}$ ve $y=90,77\text{mm}$ olarak belirlenmiş olup saat yönünde dönmektedir. Üst bina arkasında ve arka bina üst yan kısmından başlayıp bina arkasına kadar yayılan büyük bir girdap bölgesi oluşmuştur. Büyük bir girdap bölgesi olduğu için girdap kendi içerisinde ikiye ayrılmıştır. Arka bina üst kısmında oluşan küçük girdap F_4 merkezinin koordinatları $x=125,95\text{mm}$ ve $z=171,56\text{mm}$ noktasında olup saat yönünde dönmektedir. Burada oluşan büyük girdap F_5 merkezi $x=186,70\text{mm}$ ve $z=155,97\text{mm}$ noktasında olup saat yönünde dönmektedir. (Şekil 7.8c). Burası kırmızı renkle gösterilmiştir. Arka binanın alt yan kısmında bölünmemiş tek büyük bir F_7 girdap bölgesi oluşmuştur. Bu girdabın merkezi $x=172,23\text{mm}$ ve $z=54,40\text{mm}$ noktasında olup saatin tersi yönde

dönmektedir. Burası mavi renkte gösterilmiştir. Binalar arkasında oluşan durma noktası belirlenememiştir. Alt tarafa yerleştirilen bina modelinde S_{ab3} noktasından akış aşağı ve yukarı ayrılmıştır. Aşağı ayrılan akışta bina arka bölgesinde üst binada olduğu gibi ikincil bir ayrılmış akış bölgesi oluşturmuştur. F_8 girdap bölgesinin merkezi F_2 girdap bölgesi ile x koordinatına göre aynı noktada bulunmuş olup $x=87,72\text{mm}$ ve $z=84,16\text{mm}$ noktasındadır. Şekil 7.8b’de ölçüm sonucu elde edilen zaman ortalamalı hız alanları $\langle V \rangle$ bina yakınlarında hız vektörlerinde azalma olduğu ve hız vektör uzunluklarında azalması nedeniyle, bu bölgelerde hızlar azalmıştır. Bina çevresinden uzaklaştıkça hız vektörlerinin bulunduğu alanların arttığı ve hız vektör uzunluklarının artması sebebiyle hız değerleri artmıştır. Özellikle bina üzerinde oluşan girdap üst bitim noktalarında, iki bina arasında oluşan jet akış bölgelerinde ve arka binaya çarpan akış etkisindeki bölgede hızın yükseldiğini görebiliriz. Ayrıca binaların arasında bir jet akış oluşmuş olup özellikle iki bina arasındaki bölgelerde hızların yükseldiği görülmüştür.

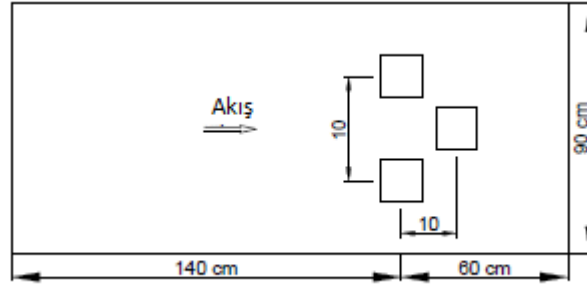
Şekil 7.9’da $5\text{cm} \times 10\text{cm} \times 5\text{cm}$ ebatlarında üç adet dikdörtgen kesitli (model C) 30° çatı eğimli bina modelleri, kanal içerisindeki plaka üzerine bina merkezleri arası mesafenin $7,5\text{cm}$ olduğu durum için çapraz yerleştirilerek akış yapıları incelenmiştir. Şekil 7.5’de üçlü yerleştirilmiş 30° çatı eğimli bina (model C) için mesafenin $6,25\text{cm}$ olduğu durumdaki akış yapısı ile benzerlik gösterdiği görülmüştür. Şekil 7.9a’da görüldüğü gibi binaların yan kısımlarında ve bina arkalarındaki girdaplar incelendiğinde, birbirine simetrik bir yapıda oldukları görülmüştür. Üst bina ve alt bina yan kısımlarında ve arkalarında oluşan girdap yapıları aynı olup girdap merkezleri benzerlik göstermektedir. Arka bina yan yüzeyleri ve arka kısımlarındaki girdap yapıları incelendiğinde girdap uzunluğu, girdap merkezleri ve durma noktası durma noktası koordinatları Şekil 7.5’de üçlü yerleştirilmiş 30° çatı eğimli bina (model C) için mesafenin $6,25\text{cm}$ olduğu durumdaki girdaplarla benzerdir. Durma noktası koordinatları Şekil 7.5’de üçlü yerleştirilmiş 30° çatı eğimli bina (model C) için mesafenin $6,25\text{cm}$ olduğu durumdaki girdaplarla benzerdir.



Şekil 7.8 Üçlü yerleştirilmiş (model B) bina modelleri etrafındaki akış $y/h=0,5$ yüzeyindeki zaman ortalama a) akım çizgileri $\langle \psi \rangle$, b) hız dağılımı $\langle V \rangle$, c) girdap eşdeğer eğrileri $\langle \omega \rangle$, minimum ve girdap eşdeğer eğrileri artış değeri $\langle \omega \rangle_{\min} = \pm 4s^{-1}$ ve $\Delta \langle \omega \rangle = 2s^{-1}$



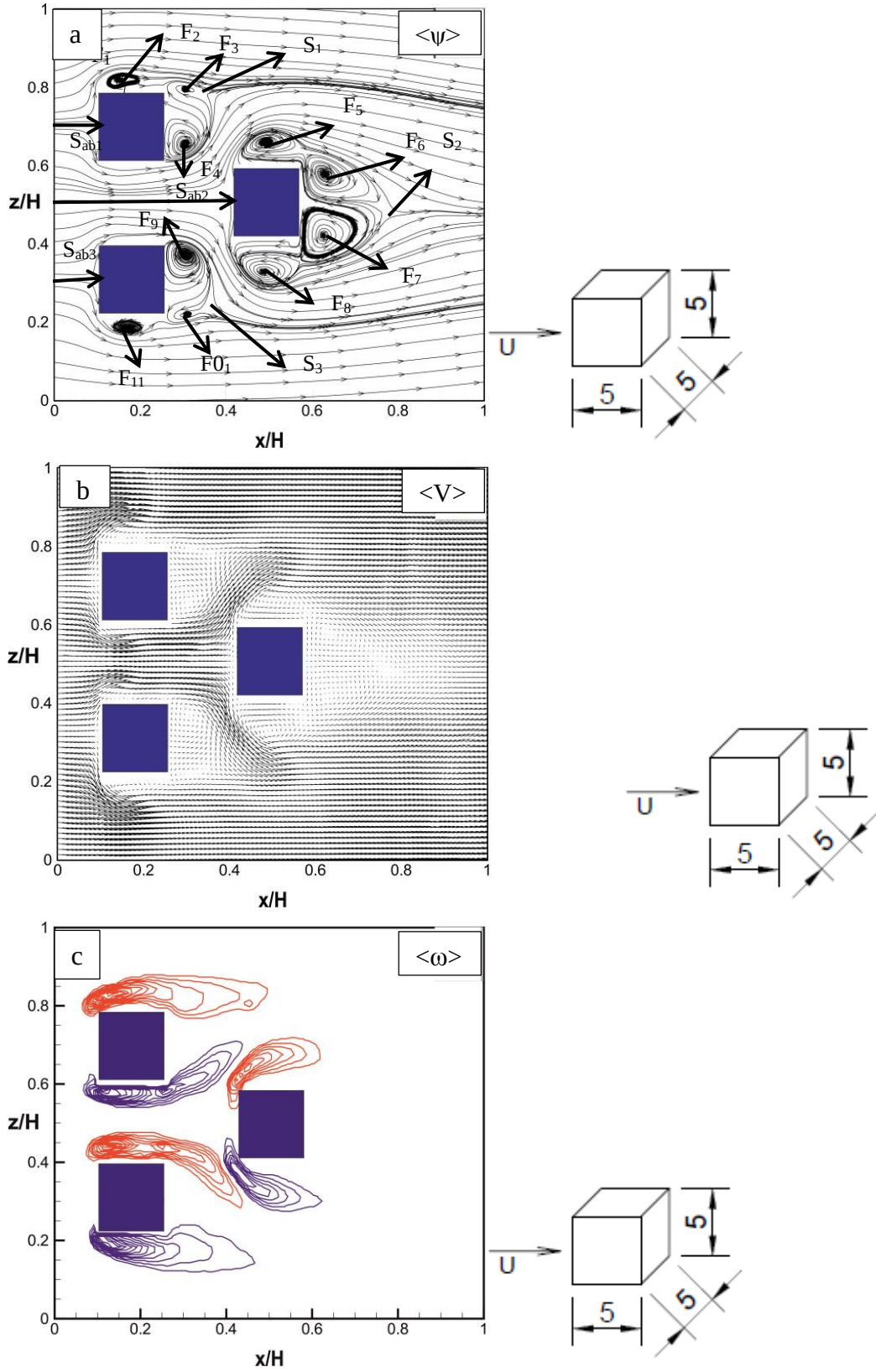
Şekil 7.9 Üçlü yerleştirilmiş (model C) bina modelleri etrafındaki akış $y/h=0,5$ yüzeyindeki zaman ortalamalı a) akım çizgileri $\langle \psi \rangle$, b) hız dağılımı $\langle V \rangle$, c) girdap eşdeğer eğrileri $\langle \omega \rangle$, minimum ve girdap eşdeğer eğrileri artış değeri $\langle \omega_{\min} \rangle = \pm 4s^{-1}$ ve $\Delta \langle \omega \rangle = 2s^{-1}$



Şekil 7.10 Üçlü bina modelleri arasındaki mesafenin 10cm olması durumunda şematik gösterim

Şekil 7.10'da şematik olarak gösterilen 5cmx5cmx5cm ebatlarında üç adet çatısız (model A) bina modelleri, kanal içerisindeki plaka üzerine bina merkezleri arası mesafenin 10cm olduğu durum için çapraz yerleştirilerek akış yapıları incelenmiştir. Şekil.7.11a'da görüldüğü gibi binaların yan kısımlarında ve bina arkalarındaki girdaplar incelendiğinde, birbirine simetrik bir yapıda olmadıkları dikkat çekmektedir. Şekil 7.3 ve Şekil 7.7'de üçlü yerleştirilmiş çatısız bina (model A) için mesafenin 6,25cm ve 7cm olduğu durumlardaki akış yapısı ile tamamen farklılık gösterdiği görülmüştür. Binalar arası mesafenin artması nedeniyle jet akış alanu genişlemiş, bununla beraber bina arka bölgelerinde farklı girdap yapıları oluşmuştur. Ayrıca arka kısma yerleştirilmiş bina yan bölgelerinde oluşan girdap yapıları küçülerek değişime uğramıştır. Üst bina modelinin bina ön yüzeyinden S_{ab1} noktasından yukarıya doğru ayrılan akış için model yan-sol köşesinden ayrılarak bir F_1 girdap bölgesi oluşturmaktadır. Bu girdap merkezinin koordinatları $x=47,21\text{mm}$ ve $z=191,873\text{mm}$ noktasındadır. Aşağıya doğru ayrılan akış, model yan sağ köşesinden akışın bir kısmı ayrılmadan yukarıya doğru akışına devam ederken F_1 girdabının tekrar birleşme noktasındaki akışla birleşme noktasında birleşmektedir. Bu noktada S_1 durma noktası oluşturmuştur. Bu noktanın merkezi $x=106,25\text{mm}$ ve $z=182,89\text{mm}$ olarak belirlenmiştir. S_1 durma noktasının sol aynında küçük bir F_2 girdap ve altında büyük F_3 girdabı oluşmuştur. F_2 girdap merkezinin koordinatları $x=95,83\text{mm}$ ve $y=186,20\text{mm}$ noktasında olup saat yönünde dönmektedir. F_3 girdap merkezi $x=96,41$ ve $z=153,13\text{mm}$ noktasında olup saat yönü tersinde dönmektedir. İki bina arasında oluşan jet akış, yüksek hızla arkadaki binaya çarparak S_{ab2} noktasından aşağı ve yukarı ayrılmıştır. Arka binanın yan üst, yan alt ve arka bölgesinde birbirine simetrik olan bir girdap bölgeleri oluşmuştur. Yan üst ve arka bölgede oluşan girdap bölgeleri eşit boyutlarda bölünerek F_4 ve devamında F_5 bir girdap bölgelerini

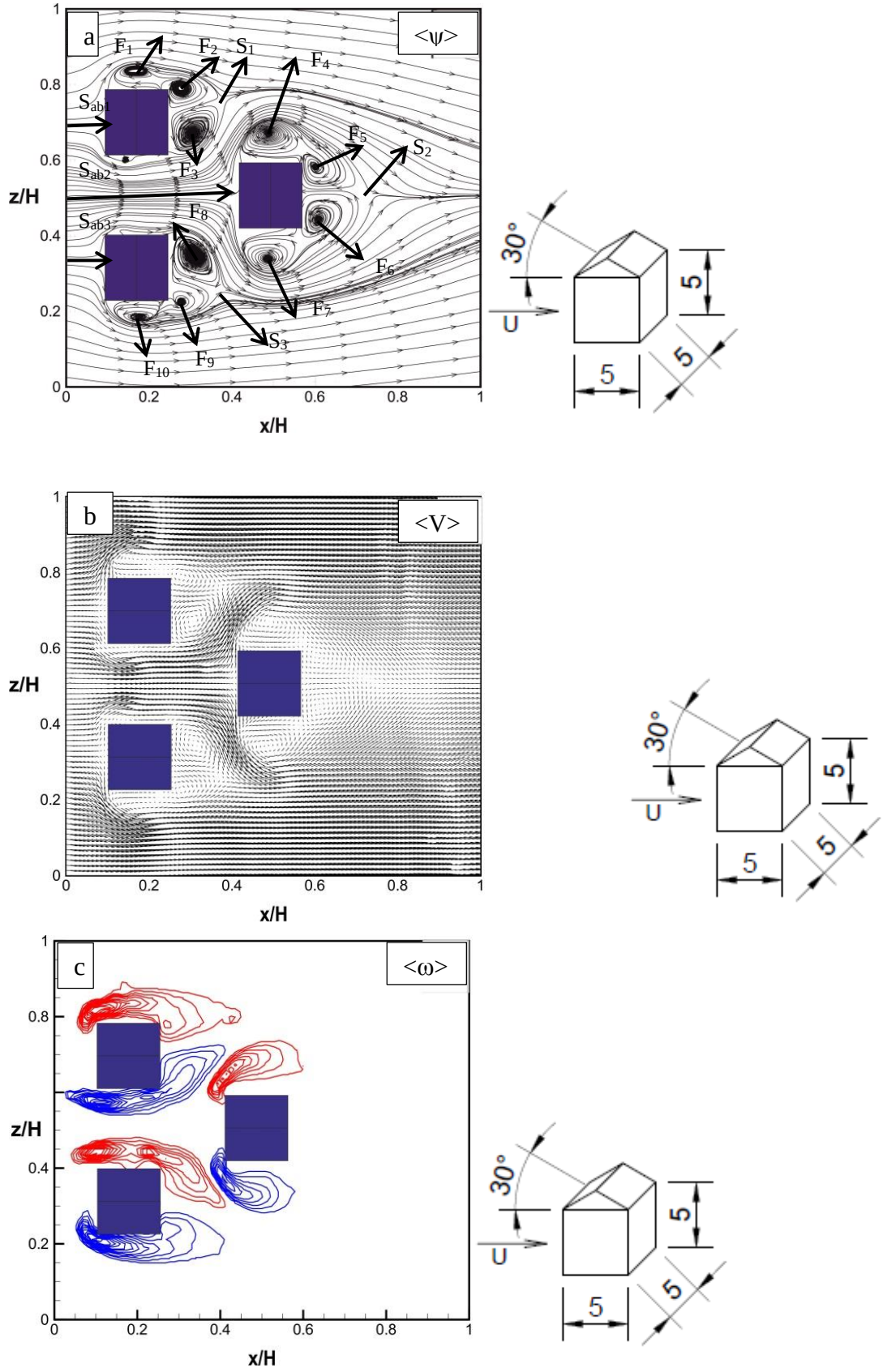
oluşturmuştur. F_4 girdap merkezi $x=155,44\text{mm}$ ve $z=154,55\text{mm}$ noktasında olup saat yönünde dönmektedir. (Şekil 7.11c). F_5 girdap ise $x= 198,28\text{mm}$ ve $z=134,71\text{mm}$ noktasında olup saat yönünde dönmektedir. Yan alt ve arka bölgede oluşan girdap bölgeleri eşit boyutlarda bölünerek F_6 ve devamında F_7 bir girdap bölgelerini oluşturmuştur. F_6 girdap merkezi $x=195,96\text{mm}$ ve $z=97,86\text{mm}$ noktasında olup saat yönünün tersinde dönmektedir (Şekil 7.11c). F_7 girdap ise $x= 153,13\text{mm}$ ve $z=77,07\text{mm}$ noktasında olup saat yönünde dönmektedir. Simetrik olarak oluşan bu iki girdap arasındaki durma noktası S_2 noktası $x= 243,42\text{mm}$ ve $z= 112,58\text{mm}$ olarak belirlenmiştir. Alt tarafa yerleştirilen bina modelinde S_{ab3} noktasından aşağı ve yukarı ayrılan akış, üst taraftaki bina modelinin akış yapısına simetrik oluşmuş olup, yukarı ayrılan akışın bir kısmı ayrılmadan aşağıya doğru hareket etmektedir. Akışın diğer kısmı bina yan yüzeyinden arakasında iki girdap bölgesi oluşturmuştur. Büyük olan F_8 girdap merkezi F_3 girdap merkezinin x koordinatıyla aynı noktada oluşmuş olup $x= 96,41\text{mm}$ ve $z= 86,99\text{mm}$ noktasındadır ve saat yönünde dönmektedir. Büyük girdabın devamında oluşan F_9 girdap merkezinin koordinatları $x= 97,56\text{mm}$ ve $z=52,04\text{mm}$ noktasındadır. Bu girdabın sağ yanında S_3 durma noktası oluşmuş olup $x=113,77\text{mm}$ ve $y=52,87\text{mm}$ olarak belirlenmiştir. Bina ön yüzünden aşağı ayrılan akış bina yan sağ köşesinden ayrılarak F_{10} girdap bölgesini oluşturmuştur. Bu girdap merkezi $x= 52,99\text{mm}$ ve $z=44,00\text{mm}$ noktasındadır. Şekil 7.11b’de zaman ortalamalı hız dağılımları $\langle V \rangle$ jet akış etkisi ile hızın yüksek yoğunluklu olduğu alanlar daha açık bir şekilde görülmektedir.



Şekil 7.11 Üçlü yerleştirilmiş (model A) bina modelleri etrafındaki akış $y/h=0,5$ yüzeyindeki zaman ortalama a) akım çizgileri $\langle \psi \rangle$, b) hız dağılımı $\langle V \rangle$, c) girdap eşdeğer eğrileri $\langle \omega \rangle$, minimum ve girdap eşdeğer eğrileri artış değeri $\langle \omega \rangle_{\min} = \pm 4s^{-1}$ ve $\Delta \langle \omega \rangle = 2s^{-1}$

Şekil 7.12’de 5cmx5cmx5cm ebatlarında üç adet 30° çatı eğimli kısa (model B) bina modelleri, kanal içerisindeki plaka üzerine bina merkezleri arası mesafenin 10cm olduğu durum için çapraz yerleştirilerek akış yapıları incelenmiştir. Şekil.7.12a’da görüldüğü gibi binaların yan kısımlarında ve bina arkalarındaki girdaplar incelendiğinde, birbirine simetrik bir yapıda olmadıkları dikkat çekmektedir. Şekil 7.4 ve Şekil 7.8’de üçlü yerleştirilmiş 30° çatı eğimli bina (model B) için mesafenin 6,25cm ve 7cm olduğu durumlardaki akış yapısı ile tamamen farklılık gösterdiği görülmektedir. Binalar arası mesafenin artması nedeniyle jet akış alanı genişlemiş bununla beraber bina arka bölgelerinde farklı girdap yapıları oluşmuştur. Ayrıca arka kısma yerleştirilmiş bina yan bölgelerinde oluşan girdap yapıları küçülerek değişime uğramıştır. Şekil 7.11 ‘de üçlü yerleştirilmiş çatısız bina (model A) için mesafenin 10cm olduğu durumdaki akış yapısı ile benzerlik gösterdiği görülmektedir. Fakat üst ve alt bölgeye yerleştirilen bina arkalarında oluşan girdaplar birbiriyle hemen hemen eşit büyüklükte oluşmuştur. Üst bina modelinin bina ön yüzeyinden S_{ab1} noktasından yukarı ayrılan akış için model yan-sol köşesinden ayrılarak birbiriyle bağlantılı iki girdap bölgesi oluşturmuştur. F_1 ve F_2 olarak adlandırılan girdap merkezleri F_1 için $x=52,99\text{mm}$ ve $z=196,124\text{mm}$ noktasında, F_2 için $x=87,72\text{mm}$ ve $y=183,84\text{mm}$ olarak belirlenmiştir. Aşağı ayrılan akış model yan sağ köşesinden akışın bir kısmı küçük bir girdap oluşturmuş, bir kısmı ayrılmadan yukarıya doğru akışına devam ederken, F_1 girdabının tekrar birleşme noktasındaki akışla birleşme noktasında birleşmektedir. Bu noktada S_1 durma noktası oluşturmuştur. Bu noktanın merkezi $x=115,51\text{mm}$ ve $z=174,86\text{mm}$ olarak belirlenmiştir. S_1 durma noktasının alt kısmında F_3 girdabı oluşmuştur. F_3 girdap merkezinin koordinatları $x=96,41\text{mm}$ ve $z=157,387\text{mm}$ noktasında olup saat yönünün tersinde dönmektedir. İki bina arasında oluşan jet akış yüksek hızla arkadaki binaya çarparak S_{ab2} noktasından aşağı ve yukarı ayrılmıştır. Arka binanın yan üst, yan alt ve arka bölgesinde birbirine simetrik olan bir girdap bölgeleri oluşmuştur. Yan üst ve arka bölgede oluşan girdap bölgeleri eşit boyutlarda bölünerek F_4 ve devamında F_5 bir girdap bölgelerini oluşturmuştur. F_4 girdap merkezi $x=153,71\text{mm}$ ve $z=157,85\text{mm}$ noktasında olup saat yönünde dönmektedir (Şekil 7.12c). F_5 girdap ise $x=189,02\text{mm}$ ve $z=135,65\text{mm}$ noktasında olup saat yönünde dönmektedir. Yan alt ve arka bölgede oluşan girdap bölgeleri eşit boyutlarda bölünerek F_6 ve devamında F_7 bir girdap bölgelerini oluşturmuştur. F_6 girdap merkezi $x=191,91\text{mm}$ ve $z=104,47\text{mm}$ noktasında olup saat yönünün tersinde dönmektedir (Şekil 7.12c). F_7 girdap ise $x=153,13\text{mm}$ ve $z=78,49\text{mm}$ noktasında

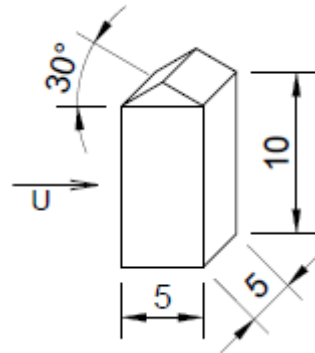
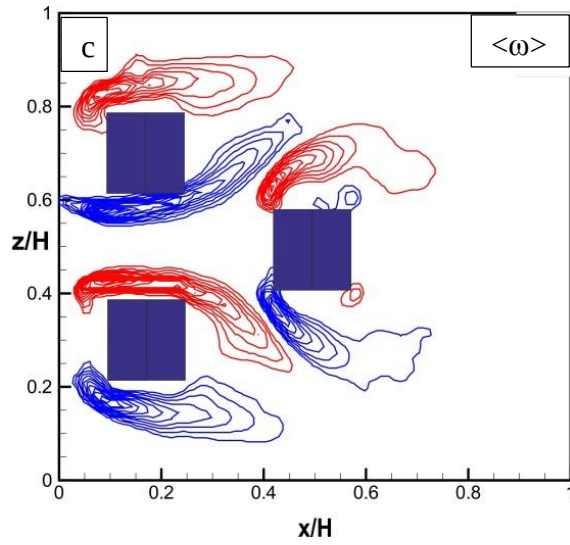
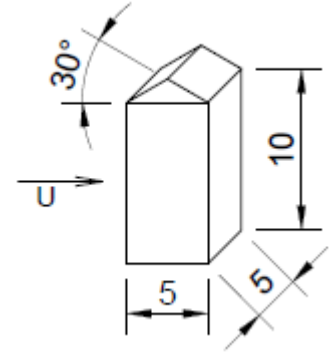
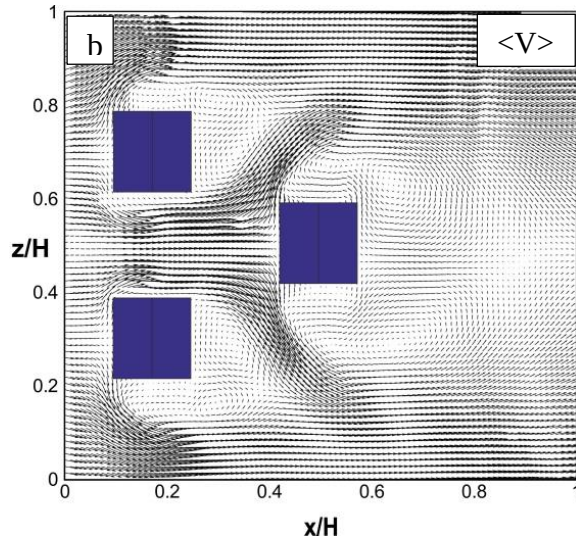
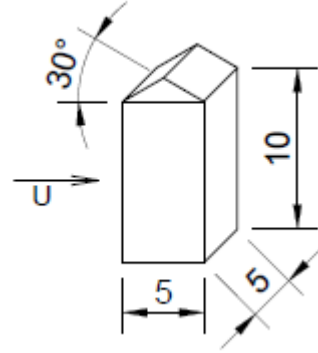
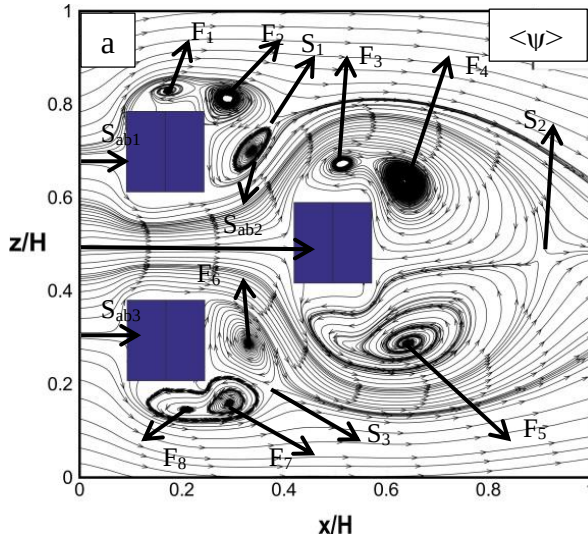
olup saat yönünde dönmektedir. Simetrik olarak oluşan bu iki girdap arasındaki durma noktası S_2 noktası $x= 226,64\text{mm}$ ve $z=118,65\text{mm}$ olarak belirlenmiştir. Alt tarafa yerleştirilen bina modelinde S_{ab3} noktasından aşağı ve yukarı ayrılan akış, üst taraftaki bina modelinin akış yapısına simetrik oluşmuş olup, yukarı ayrılan akışın bir kısmı ayrılmadan aşağıya doğru hareket etmektedir. Akışın diğer kısmı bina yan yüzeyinden arakasında iki girdap bölgesi oluşturmuştur. Büyük olan F_8 girdap merkezi F_3 girdap merkezinin x koordinatıyla aynı noktada oluşmuş olup $x= 96,41\text{mm}$ ve $z= 82,74\text{mm}$ noktasındadır ve saat yönünde dönmektedir. Büyük girdabın devamında oluşan F_9 girdap merkezinin koordinatları $x= 87,72\text{mm}$ ve $z=51,56\text{mm}$ noktasındadır. Bu girdabın sağ yanında S_3 durma noktası Şekil 7.11 üçlü yerleştirilmiş çatısız bina (model A) için mesafenin 10cm olduğu durumdaki S_3 durma noktası x koordinatına eşit $x=113,77\text{mm}$ ve $z=59,59\text{mm}$ olarak belirlenmiştir. Bina ön yüzünden aşağıya doğru ayrılan akış bina yan sağ köşesinden ayrılarak F_{10} girdap bölgesini oluşturmuştur. Bu girdap merkezinin koordinatları $x= 55,31\text{mm}$ ve $z=43,06\text{mm}$ noktasındadır. Şekil 7.12b’de zaman ortalamalı hız dağılımları $\langle V \rangle$ jet akış etkisi ile hızın yüksek yoğunluklu olduğu alanlar daha açık bir şekilde görülmektedir.



Şekil 7.12 Üçlü yerleştirilmiş (model B) bina modelleri etrafındaki akış $y/h=0,5$ yüzeyindeki zaman ortalamalı a) akım çizgileri $\langle \psi \rangle$, b) hız dağılımı $\langle V \rangle$, c) girdap eşdeğer eğrileri $\langle \omega \rangle$, minimum ve girdap eşdeğer eğrileri artış değeri $\langle \omega \rangle_{\min} = \pm 4s^{-1}$ ve $\Delta \langle \omega \rangle = 2s^{-1}$

Şekil 7.13’de 5cmx10cmx5cm ebatlarında üç adet 30° çatı eğimli kısa (model C) bina modelleri, kanal içerisindeki plaka üzerine bina merkezleri arası mesafenin 10cm olduğu durum için çapraz yerleştirilerek akış yapıları incelenmiştir. Şekil.7.12a’da görüldüğü gibi binaların yan kısımlarında ve bina arkalarındaki girdaplar incelendiğinde birbirine simetrik bir yapıda olmadıkları dikkat çekmektedir. Şekil 7.12’de üçlü yerleştirilmiş 30° çatı eğimli bina (model B) için mesafenin 10cm olduğu durumdaki akış yapısı ile hemen hemen benzerlik gösterdiği görülmektedir. Fakat alt bölgeye yerleştirilen bina yan alt kısmında ve arka kısmında oluşan akış yapısı farklılık göstermektedir. Ayrıca alt yan ve arka kısımlarında tek bir girdap bölgesi oluşmuştur. Üst bina modelinin bina ön yüzeyinden S_{ab1} noktasından yukarı ayrılan akış için model yan-sol köşesinden ayrılarak birbiriyle bağlantılı iki girdap bölgesi oluşturmuştur. F_1 ve F_2 olarak adlandırılan girdap merkezleri F_1 için $x=55,88\text{mm}$ ve $z=194,70\text{mm}$ noktasında, F_2 için $x=92,34\text{mm}$ ve $z=189,98\text{mm}$ olarak belirlenmiştir. Aşağı ayrılan akış model yan sağ köşesinden akışın bir kısmı küçük bir girdap oluşturmuş, bir kısmı ayrılmadan yukarıya doğru akışına devam ederken F_1 girdabının tekrar birleşme noktasındaki akışla birleşme noktasında birleşmektedir. Bu noktada S_1 durma noktası oluşturmuştur. Bu noktanın merkezi $x=120,70\text{mm}$ ve $z=178,64\text{mm}$ olarak belirlenmiştir. S_1 durma noktasının alt kısmında F_3 girdabı oluşmuştur. F_3 girdap merkezi $x=108,55\text{mm}$ ve $z=164\text{mm}$ noktasında olup saat yönünün tersinde dönmektedir. İki bina arasında oluşan jet akış yüksek hızla arkadaki binaya çarparak S_{ab2} noktasından aşağı ve yukarı ayrılmıştır. Arka binanın yan üst, yan alt ve arka bölgesinde birbirine simetrik olmayan bir girdap bölgeleri oluşmuştur. Yan üst ve arka bölgede oluşan girdap bölgeleri eşit boyutlarda bölünerek F_4 ve devamında F_5 bir girdap bölgelerini oluşturmuştur. F_4 girdap merkezinin koordinatları $x=161,79\text{mm}$ ve $z=156,91\text{mm}$ noktasında olup saat yönünde dönmektedir (Şekil 7.13c). F_5 girdap ise $x=200,57\text{mm}$ ve $z=148,88\text{mm}$ noktasında olup saat yönünde dönmektedir. Yan alt ve arka bölgede tek bir girdap oluşmuştur. F_6 girdap merkezi $x=204,62\text{mm}$ ve $y=67,15\text{mm}$ noktasında olup saat yönünün tersinde dönmektedir (Şekil 7.13c). Alt kısma yerleştirilen bina modelinde akış yapısı, üst bina modelinde akış yapısından farklıdır. Alt tarafa yerleştirilen bina modelinde S_{ab3} noktasından aşağıya doğru ve yukarıya doğru ayrılan akış, üst taraftaki bina modelinin akış yapısına simetrik bir akış yapısı oluşmamış olup, yukarı ayrılan akışın bir kısmı ayrılmadan aşağıya doğru hareket etmektedir. Akışın diğer kısmı bina yan yüzeyinden arakasında tek bir girdap bölgesi oluşturmuştur. F_7 girdap

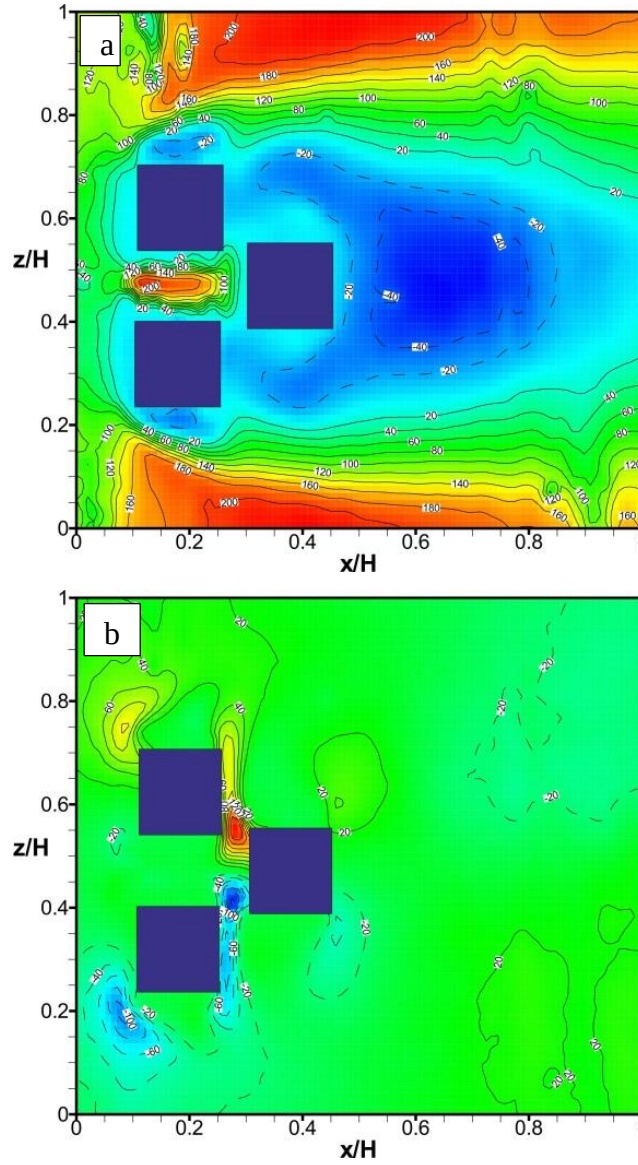
merkezinin koordinatları $x=102,76\text{mm}$ ve $z=66,68\text{mm}$ noktasındadır ve saat yönünde dönmektedir. Bina ön yüzünden aşağı ayrılan akış bina yan sağ köşesinden ayrılarak F_8 ve F_9 girdap bölgesini oluşturmuştur. F_8 girdap merkezinin koordinatları $x=90,61\text{mm}$ ve $z=37,39\text{mm}$ noktasındadır. F_9 girdabı ise $x=65,14\text{mm}$ ve $z=34,08\text{mm}$ olarak belirlenmiştir. Bu girdabın sağ yanında S_3 durma noktası oluşmuş olup merkezi $x=119,55\text{mm}$ ve $z=46,37\text{mm}$ olarak belirlenmiştir. Şekil 7.13b’de zaman ortalamalı hız dağılımı $\langle V \rangle$ jet akış etkisi ile hızın yüksek yoğunluklu olduğu alanlar daha açık bir şekilde görülmektedir.



Şekil 7.13 Üçlü yerleştirilmiş (model C) bina modelleri etrafındaki akış $y/h=0,5$ yüzeyindeki zaman ortalama a) akım çizgileri $\langle\psi\rangle$, b) hız dağılımı $\langle V\rangle$, c) girdap eşdeğer eğrileri $\langle\omega\rangle$, minimum ve girdap eşdeğer eğrileri artış değeri $\langle\omega\rangle_{\min}=\pm 4s^{-1}$ ve $\Delta\langle\omega\rangle=2s^{-1}$

7.2.2 Ortalama Hızlar

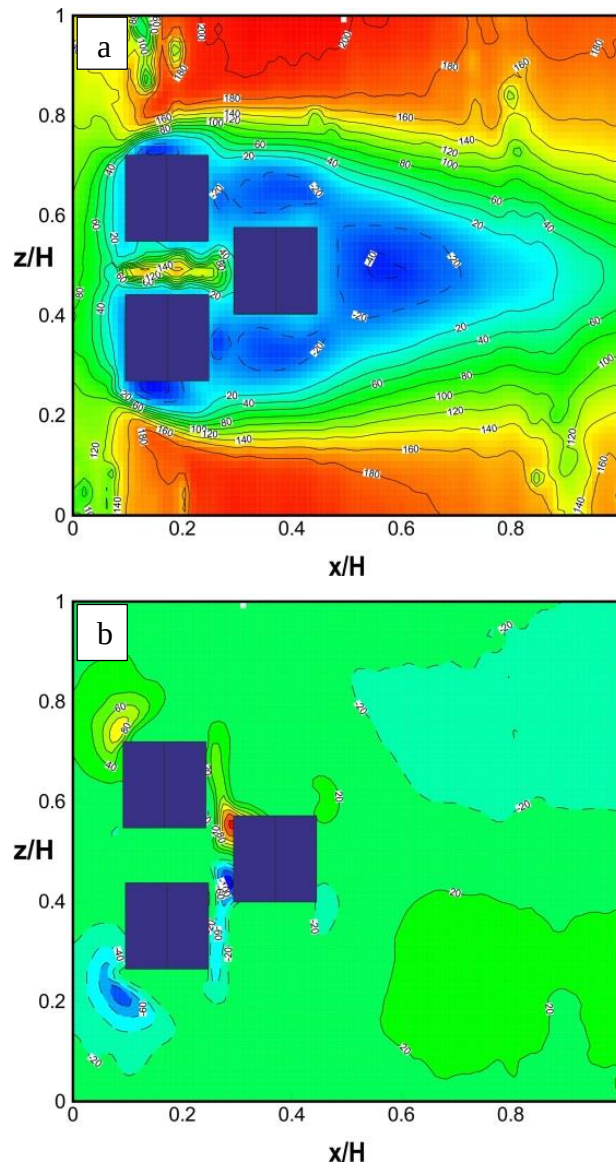
Üçlü olarak çapraz şekilde yerleştirilen üç adet çatısız (model A) model çevrelerindeki $z/h=0,5$ olan binalar arası mesafenin $6,25cm$ olması durumunda simetri yüzeyi için x ve y yönündeki ortalama eşdeğer hız eğrileri, Şekil 7.14a ve Şekil 7.14b'de gösterilmiştir. Şekil 7.14a'da x yönündeki ortalama eşdeğer hız dağılımları gösterilmiştir. Öndeki ikili binalarının üst yan bölgelerinde ve arka bina çevresinde oluşan ayrılmış akış bölgesi görülmektedir. Oluşan bu ayrılmış akış bölgelerinin öndeki ikili bina için yan yüzeylerdeki büyüklükleri hemen hemen eşittir. Arka binada oluşan ayrılmış akış bölgesi $x/H=0.85$ noktasına kadar uzanmaktadır. İki bina arasındaki mesafenin çok az olması nedeniyle oluşan jet akış bu bölgede hız artışlarına sebep olmuştur. Genel olarak zaman ortalamalı $\langle u \rangle$ eşdeğer hız dağılımları binalar çevresindeki akış yapısı açısından simetrik bir şekilde oluşmuştur. Şekil 6.14b'de y yönündeki ortalama eşdeğer hız dağılımları verilmiştir. Bina önünde akış doğrultusunda yalnızca üst kısımlarında birbirine simetrik $\langle v \rangle$ eşdeğer hız dağılımları oluşmuş olup jet akıştan dolayı alt kısımda çok küçük büyüklükte oluşmuştur. Üst kısımdaki bina keskin kenarında yukarı akım bölgesi oluşmuş olup alt kısımdaki bina keskin kenarında ise aşağı akım bölgesi oluşmuştur. İki bina arasında herhangi bir hız eğrisi oluşmamış olup, iki bina arkası ve çapraz duran bina ön bölgesinde aşağı ve yukarı akış bölgeleri oluşmuştur. Çapraz bina hemen arkasında keskin köşelerde üst ve alt kısımlarda küçük yukarı ve aşağı akış bölgeleri oluşmuştur. Ayrıca kanal girişindeki alt ve üst kısma yerleştirilen bina keskin köşelerindeki akışlar bina arkalarındaki akışla birleşmiştir.



Şekil 7.14 Üçlü yerleştirilen bina modeli (model A) etrafındaki akış için $y/h=0,5$ simetri yüzeyi zaman ortalama a) $\langle u \rangle$ hız dağılımı b) $\langle v \rangle$ hız dağılımı

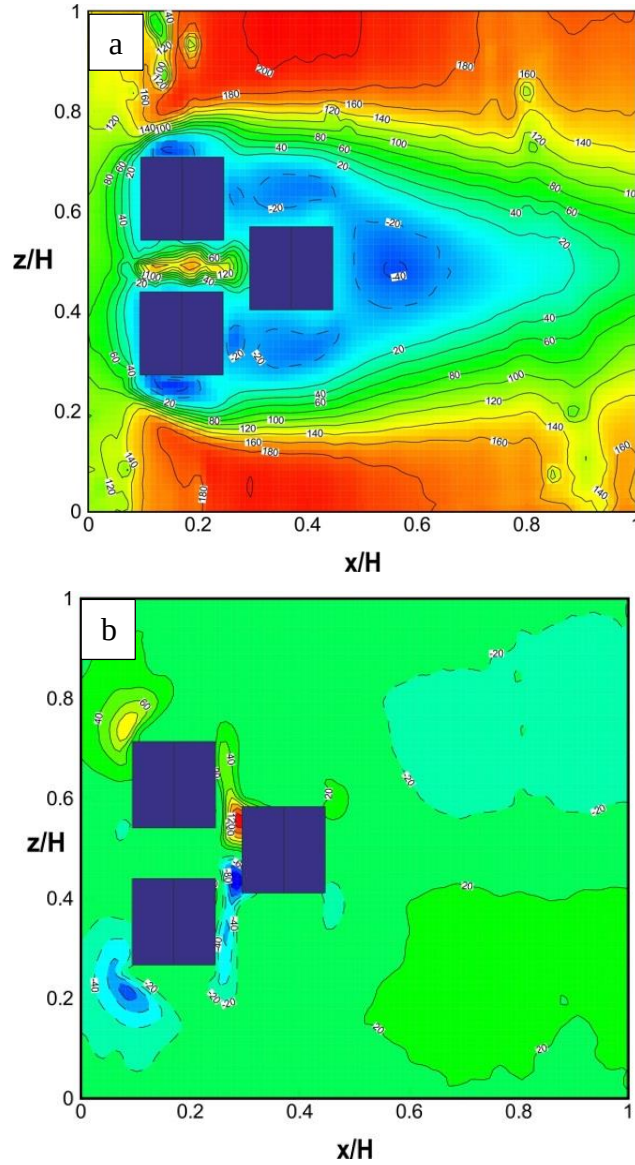
Üçlü olarak çapraz şekilde yerleştirilen üç adet 30° çatı eğimli çatı kısa (model B) model çevrelerindeki $z/h=2$ olan binalar arası mesafenin 6,25cm olması durumunda simetri yüzeyi için x ve y yönündeki ortalama eşdeğer hız dağılımları, Şekil 7.15a ve Şekil 7.15b’de gösterilmiştir. Şekil 7.15a’da x yönündeki ortalama eşdeğer hız dağılımları gösterilmiştir. Öndeki ikili binalarının üst yan bölgelerinde ve arka bina çevresinde oluşan ayrılmış akış bölgesi görülmektedir. Arka binada oluşan ayrılmış akış bölgesi $x/H= 0.7$ noktasına kadar uzanmaktadır. İki bina arasındaki mesafenin çok az olması nedeniyle oluşan jet akış bu bölgede hız artışlarına sebep olmuştur. Genel olarak zaman ortlaamalı $\langle u \rangle$ eşdeğer hız dağılımları binalar çevresindeki akış yapısı açısından simetrik bir şekilde oluşmuştur. Şekil 7.14a’de çatısız modele göre

akış yapısı farklılık göstermektedir. Çapraz olarak yerleştirilen bina arkasındaki aşağı akış bölgesinde ayrılma görülmüştür. Şekil 6.15b’de y yönündeki ortalama eş hız eğrileri verilmiştir. Bina önünde akış doğrultusunda yalnızca üst kısımlarında birbirine simetrik $\langle v \rangle$ eşdeğer hız dağılımları oluşmuş alt kısımda oluşmamıştır. Üst kısımdaki bina keskin kenarında yukarı akım bölgesi oluşmuş olup alt kısımdaki bina keskin kenarında ise aşağı akım bölgesi oluşmuştur. İki bina arasında herhangi bir hız eğrisi oluşmamış olup, iki bina arkası ve çapraz duran bina ön bölgesinde aşağı ve yukarı akış bölgeleri oluşmuştur. Çapraz bina hemen arkasında keskin köşelerde üst ve alt kısımlarda küçük yukarı ve aşağı akış bölgeleri oluşmuştur.



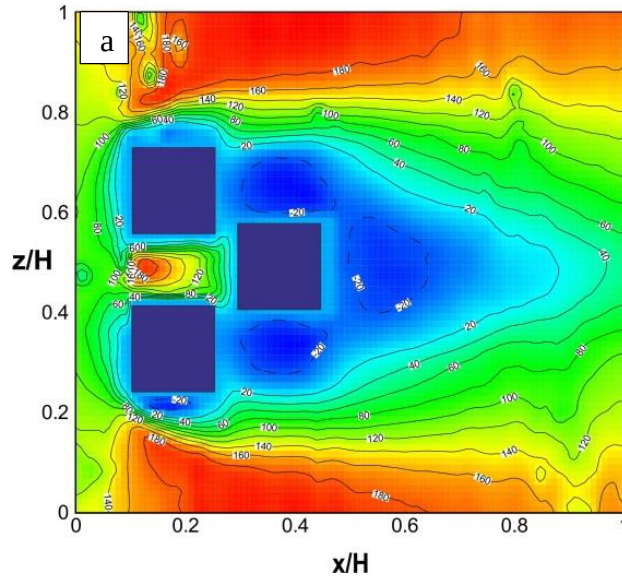
Şekil 7.15 Üçlü yerleştirilen bina modeli (model B) etrafındaki akış için $y/h=0,5$ simetri yüzeyi zaman ortalama a) $\langle u \rangle$ hız dağılımı b) $\langle v \rangle$ hız dağılımı

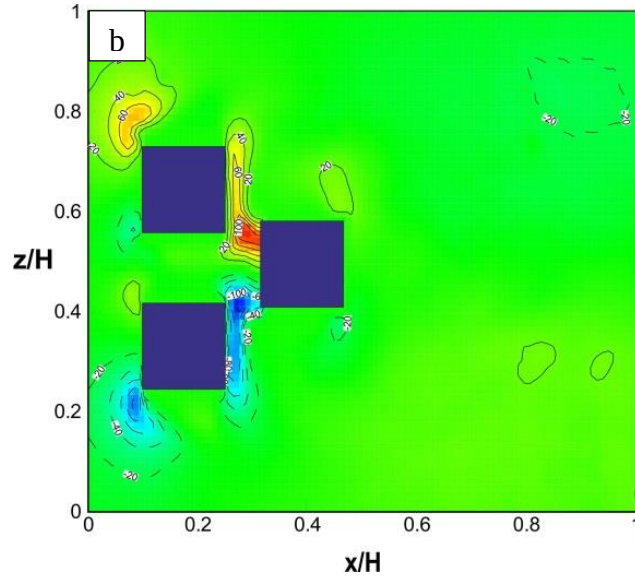
Üçlü olarak çapraz şekilde yerleştirilen üç adet 30° çatı eğimli çatı kısa (model C) model çevrelerindeki $z/h=0,5$ olan binalar arası mesafenin $6,25\text{cm}$ olması durumunda simetri yüzeyi için x ve y yönündeki ortalama eşdeğer hız dağılımları, Şekil 7.16a ve Şekil 7.16b’de gösterilmiştir. Şekil 7.16a’da x yönündeki ortalama eşdeğer hız eğrileri gösterilmiştir. Öndeki ikili binalarının üst yan bölgelerinde ve arka bina çevresinde oluşan ayrılmış akış bölgesi görülmektedir. Arka binada oluşan ayrılmış akış bölgesi $x/H= 0.68$ noktasına kadar uzanmaktadır. Genel olarak $\langle u \rangle$ eşdeğer hız dağılımları binalar çevresindeki akış yapısı açısından simetrik bir şekilde oluşmuştur. Şekil 7.15a’de çatılı kısa modele göre akış yapısı çok az farklılık göstermektedir. Şekil 6.15b’de y yönündeki ortalama eşdeğer hız dağılımları verilmiştir. Şekil 7.15b’deki hız eğrileri ile benzer akış yapısı olduğu görülmektedir.



Şekil 7.16 Üçlü yerleştirilen bina modeli (model C) etrafındaki akış için $y/h=0,5$ simetri yüzeyi zaman ortalamalı a) $\langle u \rangle$ hız dağılımı b) $\langle v \rangle$ hız dağılımı

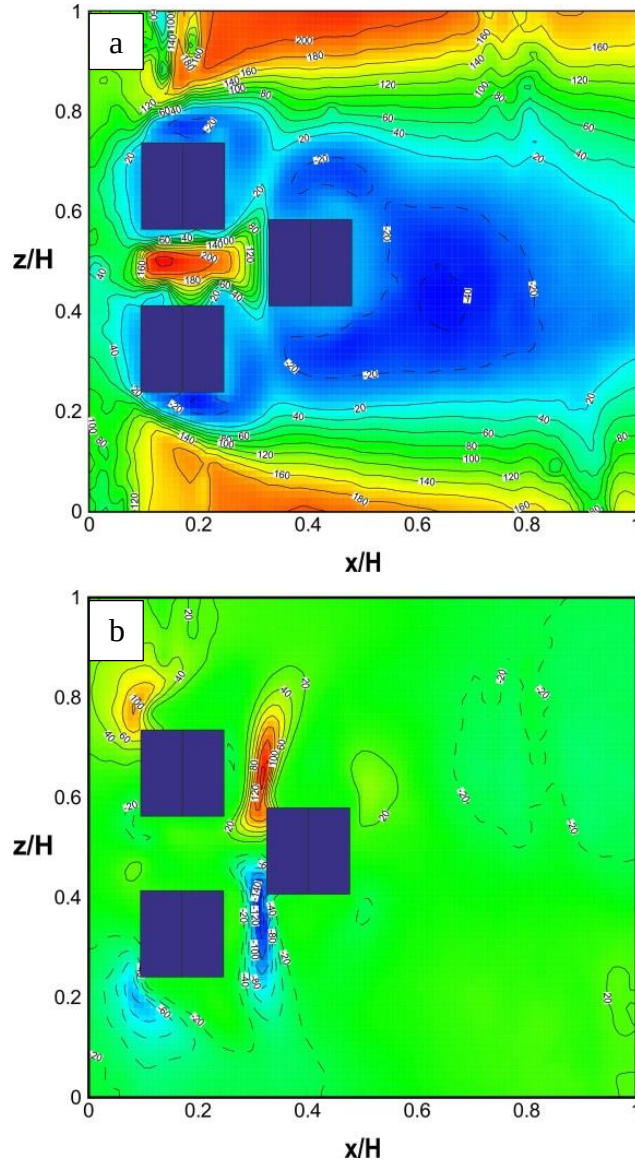
Üçlü olarak çapraz şekilde yerleştirilen üç adet çatısız (model A) model çevrelerindeki $z/h=0,5$ olan binalar arası mesafenin 7,5cm olması durumunda simetri yüzeyi için x ve y yönündeki ortalama eş hız eğrileri, Şekil 7.17a ve Şekil 7.17b’de gösterilmiştir. Şekil 7.17a’da x yönündeki ortalama eşdeğer hız dağılımları gösterilmiştir. Şekil 7.14a’da verilen binalar arası mesafenin 6.25cm olduğu durumla kıyaslandığında, jet akış bölgesin genişlediği ve çapraz olarak yerleştirilen bina çevresindeki akış alanı bölünmüştür. Binalar arası mesafenin artması ile jet akış bölgesindeki hızlar azalmıştır. Arka binada oluşan ayrılmış akış bölgesi $x/H= 0.65$ noktasına kadar gerilemiştir. Şekil 6.17b’de y yönündeki ortalama eşdeğer hız dağılımları verilmiştir. 7.14b’de verilen binalar arası mesafenin 6.25cm olduğu durumla kıyaslandığında, jet akış bölgesin genişlediği ve kanal girişindeki alt ve üst kısımdaki binaların keskin köşelerinde oluşan akışlar bina arkalarında oluşan akışlardan ayrılmıştır.





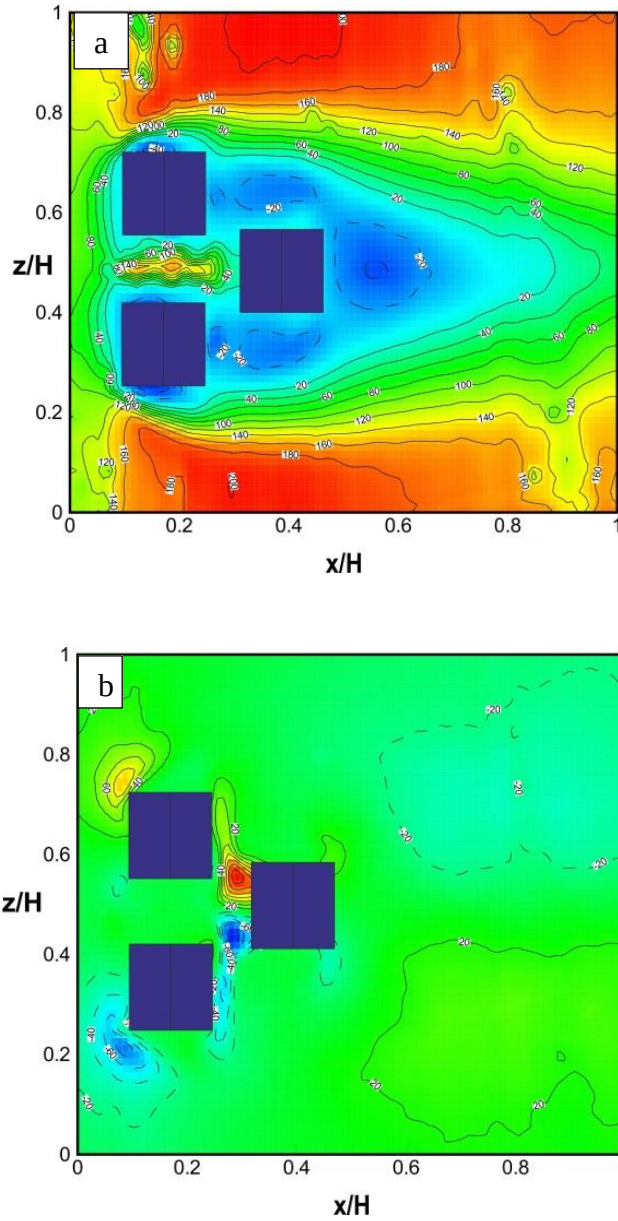
Şekil 7.17 Üçlü yerleştirilen bina modeli (model A) etrafındaki akış için $y/h=0,5$ simetri yüzeyi zaman ortalama a) $\langle u \rangle$ hız dağılımı b) $\langle v \rangle$ hız dağılımı

Üçlü olarak çapraz şekilde yerleştirilen üç adet çatısız (model B) model çevrelerindeki $z/h=0,5$ olan binalar arası mesafenin 7,5cm olması durumunda simetri yüzeyi için x ve y yönündeki ortalama eş hız eğrileri, Şekil 7.18a ve Şekil 7.18b’de gösterilmiştir. Şekil 7.18a’da x yönündeki ortalama eşdeğer hız dağılımları gösterilmiştir. Şekil 7.15a’da verilen binalar arası mesafenin 6.25cm olduğu durumla kıyaslandığında, jet akış bölgesin genişlediği ve çapraz olarak yerleştirilen bina çevresindeki akış alanın genişlediği görülmektedir. Binalar arası mesafenin artmasına rağmen jet akış bölgesindeki hızlar artmıştır. Binalar arasındaki mesafenin artması ile arkadaki çapraz bina önündeki hız değerleri artış göstermektedir. Şekil 7.17b’de y yönündeki ortalama eşdeğer hız eğrileri verilmiştir. 7.14b’de verilen binalar arası mesafenin 6.25cm olduğu durumla kıyaslandığında jet akış bölgesin genişlediği ve kanal girişindeki alt ve üst kısımdaki binaların keskin köşelerinde oluşan akışlar bina arkalarında oluşan akışlar çapraz bina önünde oluşan akışla birleşmiştir. Çapraz bina önündeki akış alanı artmıştır.



Şekil 7.18 Üçlü yerleştirilen bina modeli (model B) etrafındaki akış için $y/h=0,5$ simetri yüzeyi zaman ortalamı a) $\langle u \rangle$ hız dağılımı b) $\langle v \rangle$ hız dağılımı

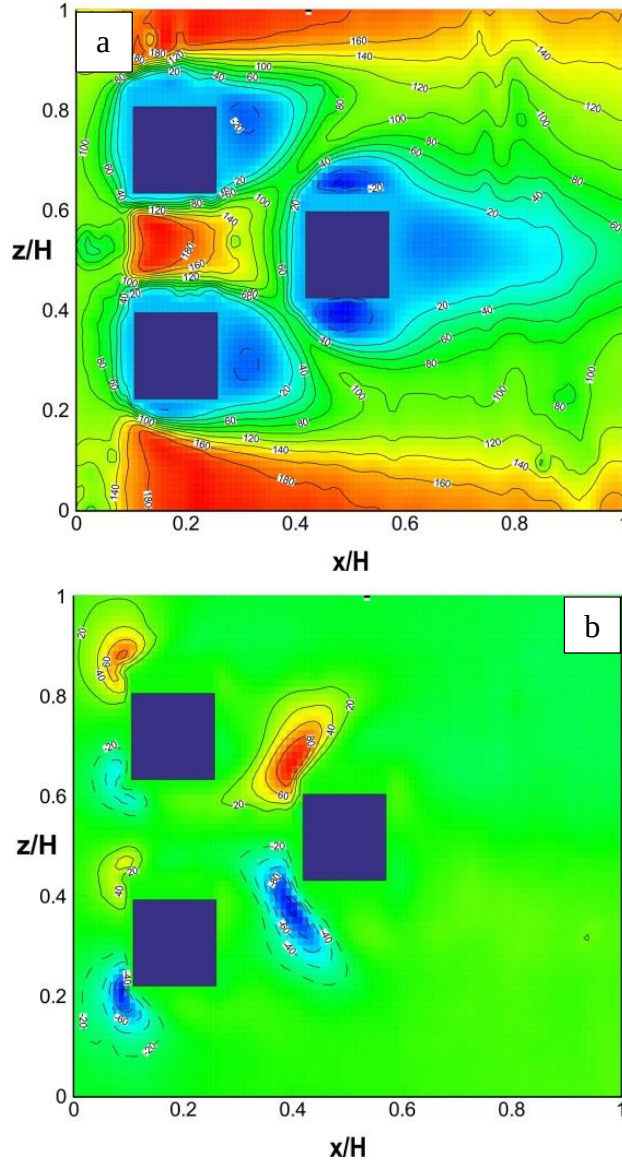
Üçlü olarak çapraz şekilde yerleştirilen üç adet 30° çatı eğimli çatı kısa (model C) model çevrelerindeki $z/h=0,5$ olan binalar arası mesafenin 7.5cm olması durumunda simetri yüzeyi için x ve y yönündeki ortalama eşdeğer hız dağılımları, Şekil 7.19a ve Şekil 7.19b’de gösterilmiştir. Şekil 7.19a’da x yönündeki ortalama eşdeğer hız dağılımları gösterilmiştir. Öndeki ikili binalarının üst yan bölgelerinde ve arka bina çevresinde oluşan ayrılmış akış bölgesi görülmektedir. Genel olarak $\langle u \rangle$ eşdeğer hız dağılımları binalar çevresindeki akış yapısı açısından simetrik bir şekilde oluşmuştur. Şekil 7.16a’da çatılı kısa modele göre akış yapısı çok az farklılık göstermektedir. Şekil 7.19b’de y yönündeki ortalama eşdeğer hız dağılımları verilmiştir. Şekil 7.16b’deki hız dağılımları ile benzer akış yapısı olduğu görülmektedir.



Şekil 7.19 Üçlü yerleştirilen bina modeli (model C) etrafındaki akış için $y/h=0,5$ simetri yüzeyi zaman ortalamalı a) $\langle u \rangle$ hız dağılımı b) $\langle v \rangle$ hız dağılımı

Üçlü olarak çapraz şekilde yerleştirilen üç adet çatısız (model A) model çevrelerindeki $z/h=0,5$ olan binalar arası mesafenin 10cm olması durumunda simetri yüzeyi için x ve y yönündeki ortalama eşdeğer hız dağılımları, Şekil 7.20a ve Şekil 7.20b’de gösterilmiştir. Şekil 7.20a’da x yönündeki ortalama eşdeğer hız dağılımları gösterilmiştir. Binalar arası mesafenin 6.25cm ve 7.5cm olduğu durumla kıyaslandığında jet akış bölgesinin oldukça genişlediği ve çapraz olarak yerleştirilen bina çevresindeki ayrılmış akış bölgesinin küçüldüğü görülmektedir. Şekil 6.20b’de y yönündeki ortalama eşdeğer hız eğrileri verilmiştir. Binalar arası mesafenin 6.25cm

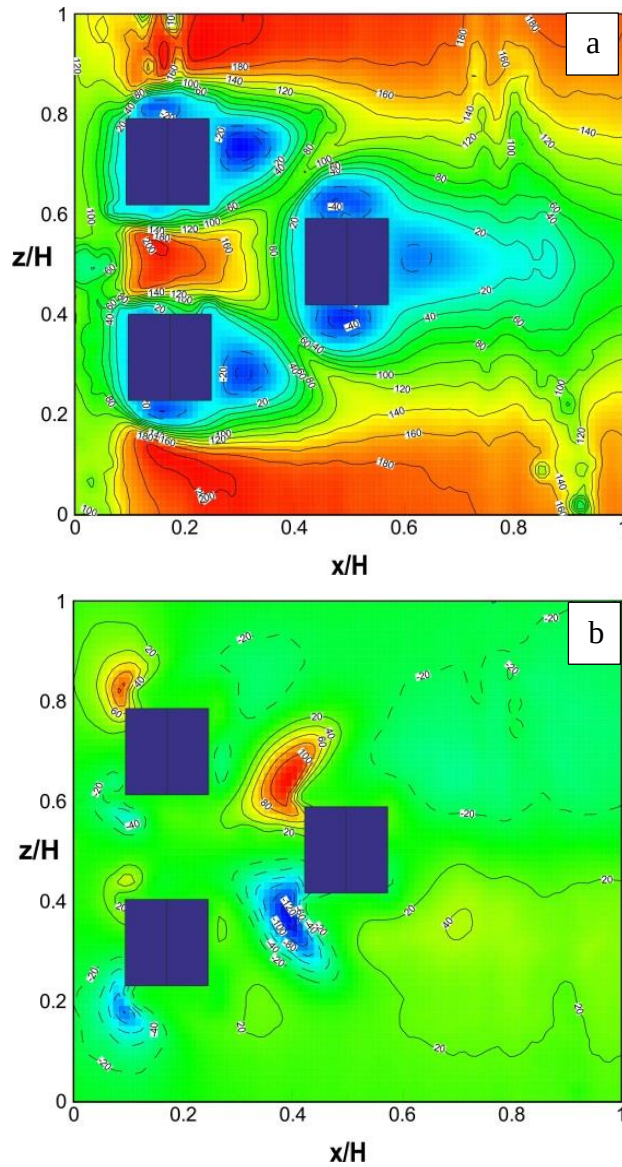
ve 7.5cm olduğu durumla kıyaslandığında jet akış bölgesin genişlediği ve kanal girişindeki alt ve üst kısımdaki binaların alt ve üst bölgelerinde aşağı ve yukarı akış bölgeleri oluşmuştur. Çapraz bina ön bölgesindeki aşağı ve yukarı akış bölgesi arası mesafeleri artmıştır.



Şekil 7.20 Üçlü yerleştirilen bina modeli (model A) etrafındaki akış için $y/h=0,5$ simetri yüzeyi zaman ortalama a) $\langle u \rangle$ hız dağılımı b) $\langle v \rangle$ hız dağılımı

Üçlü olarak çapraz şekilde yerleştirilen üç adet çatısız (model B) model çevrelerindeki $z/h=0,5$ olan binalar arası mesafenin 10cm olması durumunda simetri yüzeyi için x ve y yönündeki ortalama eş hız eğrileri, Şekil 7.21a ve Şekil 7.21b’de gösterilmiştir. Şekil 7.20a’da x yönündeki ortalama eşdeğer hız dağılımları gösterilmiştir. Binalar arası mesafenin 6.25cm ve 7.5cm olduğu durumla

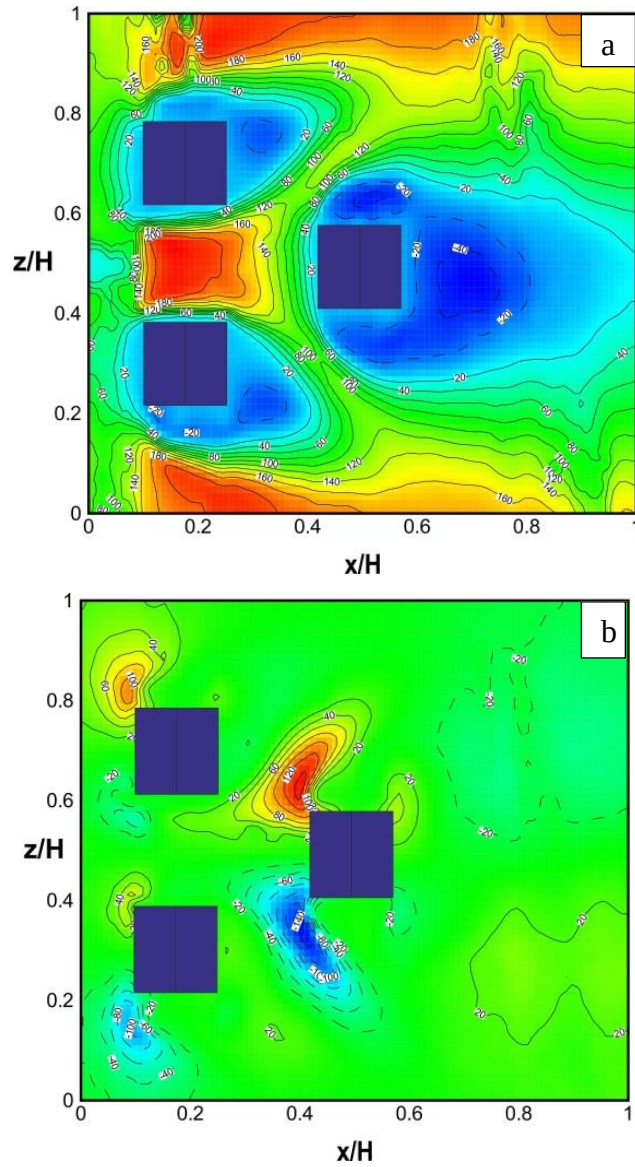
kıyaslandığında jet akış bölgesinin oldukça genişlediği ve çapraz olarak yerleştirilen bina çevresindeki ayrılmış akış akış bölgesinin küçüldüğü görülmektedir. Şekil 6.21b’de y yönündeki ortalama eşdeğer hız eğrileri verilmiştir. Binalar arası mesafenin 6.25cm ve 7.5cm olduğu durumla kıyaslandığında jet akış bölgesin genişlediği ve kanal girişindeki alt ve üst kısımdaki binaların alt ve üst bölgelerinde aşağı ve yukarı akış bölgeleri oluşmuştur. Çapraz bina ön bölgesindeki aşağı ve yukarı akış bölgesi arası mesafeleri artmıştır.



Şekil 7.21 Üçlü yerleştirilen bina modeli (model B) etrafındaki akış için $y/h=0,5$ simetri yüzeyi zaman ortalama a)<u> hız dağılımı b)<v> hız dağılımı

Üçlü olarak çapraz şekilde yerleştirilen üç adet çatısız (model C) model çevrelerindeki $z/h=0,5$ olan binalar arası mesafenin 10cm olması durumunda simetri

yüzeyi için x ve y yönündeki ortalama eşdeğer hız dağılımları, Şekil 7.22a ve Şekil 7.22b’de gösterilmiştir. Şekil 7.20a’da x yönündeki ortalama eşdeğer hız dağılımları gösterilmiştir. Binalar arası mesafenin 6.25cm ve 7.5cm olduğu durumla kıyaslandığında jet akış bölgesinin oldukça genişlediği ve çapraz olarak yerleştirilen bina çevresindeki ayrılmış akış bölgesinin küçüldüğü görülmektedir. Şekil 6.22b’de y yönündeki ortalama eşdeğer hız dağılımları verilmiştir. Binalar arası mesafenin 6.25cm ve 7.5cm olduğu durumla kıyaslandığında jet akış bölgesin genişlediği ve kanal girişindeki alt ve üst kısımdaki binaların alt ve üst bölgelerinde aşağı ve yukarı akış bölgeleri oluşmuştur. Çapraz bina ön bölgesindeki aşağı ve yukarı akış bölgesi arası mesafeleri artmıştır.



Şekil 7.22 Üçlü yerleştirilen bina modeli (model C) etrafındaki akış için $y/h=0,5$ simetri yüzeyi zaman ortalama a) $\langle u \rangle$ hız dağılımı b) $\langle v \rangle$ hız dağılımı

8. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

8.1 Sonuçlar

Bu çalışmada, dört farklı bina modeli etrafındaki akış yapısı, kapalı devre açık yüzeyli su kanalında Parçacık Görüntülemeli Hız Ölçüm Tekniği (PIV) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bina modelleri olarak 5cmx5cmx5cm boyutlarında çatısız, 5x5x5cm boyutlarında 30° eğime sahip çatılı, 5cmx10cmx5cm boyutlarında 30° eğime sahip çatılı, 10cmx5cmx5cm boyutlarında 30° eğime sahip çatılı modeller kullanılmıştır. Bu bina modelleri üzerinde akış alanları (ortalama hız alanları, akım çizgileri ve girdap eş değer eğrileri vs.), tek bina yerleşim durumuna, ikili bina yerleşim durumuna ve üçlü çapraz bina yerleşim durumuna göre incelenmiştir. Aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır:

1. Gelen rüzgârın binaların kenar ve köşelerinden ayrılması sonucunda, binaların önünde, yan duvarları boyunca, arkasında ve çatı yüzeylerinde ayrılmış akış bölgeleri meydana gelmektedir. Ayrılmış akış bölgeleri ile serbest akış bölgesini ayıran karışım tabakasında türbülans şiddetleri, artmaktadır.
2. Tek bina modeli için simetri ekseninden yan kenarlara gidildikçe sınır tabaka kalınlığı azalmaktadır. Aşağı akım yönündeki jet akışı yerini düşük enerjili akışa bırakmaktadır. Bu nedenle bina modeli arkasındaki ayrılma bölgesinin uzunluğu yan kenarlara gidildikçe azalmaktadır.
3. Tek bina model için yüksek türbülans kinetik enerji bölgesi, model arkasındaki ayrılmış akış bölgesinde oluşmaktadır. Simetri ekseninden yan kenarlara gidildikçe türbülans kinetik enerji daha geniş bir bölgeye yayılmaktadır. Model arkasından aşağı akım bölgesine gidildikçe, yakın girdap bölgesinde türbülans kinetik enerji seviyeleri artmakta, uzak girdap bölgesine gidildikçe ise azalmaktadır.
4. Düz çatıda ön kenardan ayrılan akış, bina yüksekliğinin yaklaşık 0.45 katı bir uzaklıkta çatı yüzeyine tekrar tutunmakta ve çatı arka kenarından tekrar ayrılmaktadır. 30° eğimli çatının ön kenarında çok kısa bir mesafede ayrılmış akış bölgesi oluşmaktadır.
5. Deneysel ve sayısal sonuçlar karşılaştırıldığında genel olarak akış profillerinin birbiriyle uyumlu olduğu oluşan farklılıkların bina arkasındaki bölgelerde olduğu görülmüştür.
6. Bina geometrilerine bağlı olarak bina arkasındaki girdap büyüklükleri değişmekte olup en büyük girdap çatılı geniş bina modelinde gerçekleşmiştir.

8.2 Öneriler

Bina modelleri etrafındaki akış alanının araştırılmasında, kurulan teoriler ve matematiksel modellerin geçerlilik kazanması ve geliştirilmesi, büyük ölçüde deneysel çalışmalara bağlı olmaktadır. Bu çalışmada sadece binalar üzerinde ortalama hız ve türbülans ölçümleri yapılmış olup daha ileride yapılacak çalışmalarda binalar üzerindeki rüzgar yükleri ve basınç ile ilgili deneyler yapılması yararlı olacaktır. Hatta basınç ölçümlerinde, çatılar üzerindeki pik basınç mekanizmasını tam olarak ortaya koyarak girdap dinamiğinin anlaşılmasına yönelik çalışmalar, yapıların hasara uğramasını önleyici çalışmalara katkı sağlayacaktır. Değişik geometrik yapıdaki binalar etrafındaki akış alanlarının deneysel ve teorik olarak incelenmesi de, konunun bütünleşmesi yönünden yararlı olacaktır. Bina modelleri $z/h=0,5$ ve $y/h=0,5$ ve $y/h=1$ olduğu eksenlerde akış görüntüleri alınmıştır. Bina üzerinde daha fazla bölge için akış görüntülerinin alınması yararlı olacaktır. Akış yönlendirici çatı kenarı ve sırtı boyunca yerleştirilen spoiler benzeri elemanların, binalar üzerindeki etkileri incelenebilir.

Çevre kirliliği açısından, binalar ve sanayi bölgelerinden çıkan atık gazların, yerleşim merkezlerine yapabileceği etkiler göz önüne alınmalıdır. Bu amaçla, atık gazlarla yayılan parçacıkların konsantrasyonunun ve yerel rüzgâr durumunun birlikte değerlendirilebileceği modelleme çalışmalarının yapılması yararlı olacaktır. Yerleşim ve sanayi merkezlerinin kurulmasında, çevre sağlığı göz önünde bulundurularak, mimari düzenlemelerin akışkanlar mekaniği ile bütünleşmesi sağlanmalıdır. Bu tip problemlerin sayısal çözümü amacıyla kullanılan türbülans modellerinin hassasiyetlerinin denenmesi sayısal rüzgar mühendisliği çalışmaları açısından büyük önem taşıyacaktır.

Bu tür çalışmalar, binalarla ilgili rüzgar standartları ve kodlarının, iklimsel koşullardaki değişimlere göre düzeltilmesine ve yenilenmesine de büyük katkılar sağlayacaktır. Özellikle, ülkemizde başka bir ülkenin standardını tercüme ederek kullanmak yerine, kendi coğrafi ve iklimsel koşullarına uygun bir standardın hazırlanması yönünde, ilgili kurum ve kuruluşlarla ortak bir çalışma içine girilmesi gerekmektedir.

KAYNAKLAR

- Adrian, R. J.**, (1991) Particle-imaging techniques for experimental fluid mechanics
[Makale] // Annu. Rev. Fluid Mechanics.. - Cilt 23.
- Aynsley, R.M., Melbourne, W., Vickery, B.J.** (1977). Architectural aerodynamics,
Applied science publishers Ltd,London.
- Banks, D., Meroney, R.N., Sarkar, P.P., Zhao, Z., ve Wu, F.**, (2000) Flow
visualization of conical vortices on flat roofs with simultaneous surface
pressure measurement, Journal of wind engineering and industrial
aerodynamics, 84, 65-85.
- Baydar, E.**, (1991) Engel Etrafindaki Laminer ve Türbülanslı Akışların Sayısal ve
Deneyisel İncelenmesi, Doktora Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü,
Trabzon,175
- Blocken, B., Carmeliet,J.**, (2007) Validation of CFD simulation of wind-driven rain
on a low rise building facade. Building and Environment 42,2530-2548
- Blocken, B., Gousseau,P., Stathooulos,T., Van Hejst, G.**, (2011) CFD simulation
of near field pollutant dispersion on a high resolution grid: A case study
by LES and RANS for a building group in downtown Montreal.
Atmospheric Environment 45, 428-438
- Blocken, B., Dezso, G., Van Beck, J., Carmeliet,J.**, (2010) Comparison of
calculation models for wind driven rain deposition on building facades.
Atmospheric environment,44,1714-1725
- Cook, N.J.**, (1985) The Designer's Guide to Wind Loading of Building Structures.
Part I: Background, Damage Survey, Wind Data and Structural
Classification, Butterworths, London, UK,
- Counihan , J.**, (1972). Adiabatic atmospheric boundary layers: A Review and
analysis of data from the period, Atmospheric Environment, 9, 871-905.
- Counihan, J.**, (1967) An Improved method of simulating an atmospheric boundary
layer in a Wind Tunnel, Atmos. Environ., 3, 197-214..
- Counihan, J.**, Wind tunnel determination of the roughness length as a function of
the fetch and the roughness density of three-dimensional roughness
elements, Atmos. Environ., 5 , 637-642.
- Counihan, J.**, Simulation of an Adiabatic Urban Boundary Layer in a Wind Tunnel,
Atmos. Environ., 7 (1973) 673-689.
- Çelik,S., Karakuş,C., Akıllı, H., Şahin ,B.**, (2012) Sonlu silindir üzerindeki akış

- yapısının parçacık görüntülemeli hız ölçüm tekniği (PIV) ile incelenmesi.
X. Ulusal tesisat kongresi 107
- Çengel, Y. A., ve Cimbala, J. M.,** (2007) *Akışkanlar Mekaniği ve Temelleri [Kitap]. – [s.l.] : İzmir Güven Bilimsel.*
- Ehrhard, J., ve Moussiopoulos, N.,** (2000) On a new nonlinear turbulence model for simulating flows around building-shaped structures, *Journal of wind engineering and industrial aerodynamics*, 88 (2000) 91-99.
- Flowe, A.C., ve Kumar, A.,** (2000) Analysis of velocity fields and dispersive cavity parameters as a function of building width to Building height ratio using a 3-D computer model for squat buildings, *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 86 , 87-122
- Fox, R.W., ve McDonald, A.T.,** *Introduction to fluid mechanics, John Wiley and Sons, Fourth Edition, NewYork.*
- Gao, Y., ve Chow, W.K.,** (2005) Numerical studies on air flow around a cube, *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 93, 115-135.
- Hanna, S.R., Tehranian, S., Carissimo, B., Macdonald, R., Lohner, R.,** (2002) Comparisons of model simulations with observations of mean flow and turbulence within simple obstacle arrays. *Atmospheric Environment*, 36: 5067– 5079.
- Holman, J.P.,** *Experimental methods for engineers, McGraw-Hill Book Company, NewYork.*
- Holmes, J.D.,** (1983) Wind loads on low rise buildings- A Review, Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization (CSIRO) – Division of Building Research,
<http://en.wikipedia.org>, **Beaufort Scale of Wind.**
<http://www.stormfax.com>, **Weather Services.**
- Panofsky, H.A.,** (1974). The Atmospheric boundary layer below 150 Meters, *Ann. Rev. Fluid Mech.*, 6, 147-177.
- Parker, S.T. ve Kinnersley, R.P.,** (2004) Computational and wind tunnel study of particle dry deposition in complex topography, *Atmos. Environ.*, 38, 3867-3878.
- Ginger, J.D., ve Letchford, C.W.,** (1995) Pressure Factors for Edge Regions on Low Rise Buildings Roofs, *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 54- 55, 337-344.

- Kim, Y., Kanda, J.,** (2010) Characteristics of aerodynamic forces and pressures on Square plan buildings with height variations. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 98, 449-465
- Krishna, P.,** (1995) Wind loads on low rise buildings – A Review, *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 54/55, 383-396.
- Kumar, K.S., ve Stathopoulos, T.,** (1998) Power spectra of wind pressures on low building roofs, *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 74-76, 665-674.
- Kumar, S.,** (1997) Simulation of fluctuating wind pressures on low building roofs, PhD, Concordia University, Montreal, Quebec, Canada,
- Lakehal, D.,** (1998) Application of the k- ϵ model to flow over a building placed in different roughness sublayers, *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 73 (1998) 59-77.
- Letchford, C.W., ve Ginger, J.D.,** (1992) Wind loads on planar canopy roofs – Part I: Mean Pressure Distributions, *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 45, 25-45.
- Lien, F.S., Yee, E. ve Cheng, Y.,** (2004) Simulation of mean flow and turbulence over a 2D building array using high-resolution CFD and a distributed drag force approach, *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 92, 117-158.
- Mehta, K.C., Levitan, M.L., Iverson, R.E., ve McDonald, J.R.,** (1992) Roof corner pressures measured in the field on a low building, *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 41-44, 181-192.
- Meinders, E.R., Einders, E.R., Hanjalic, K.,** (2002) Experimental study of the convective heat transfer from in-line and staggered configurations of two wall-mounted cubes. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 45: 465-482.
- Minor, J.E., ve Mehta, K.C.,** (1979) Wind damage observations and implications, *Journal of the Structural Division, ASCE*, November 2279-2291.
- Mohammed, M.M.,** (2006) Air cooling characteristics of a uniform square modules array for electronic device heat sink. *Applied Thermal Engineering*, 26: 486-493.
- Ok, V.,** (2000) Sağlıklı kentler için pasif iklimlendirme ve bina aerodinamiği. VIII. Ulusal Tesisat Mühendisliği kongresi

- Özmen, Y.**, (2006) Farklı çatı tipleri ve eğimlerindeki binalar üzerinde rüzgar etkilerinin deneysel ve teorik olarak incelenmesi. Doktora Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 210
- Panofsky, H.A.**, (1974). The Atmospheric boundary layer below 150 Meters, Ann. Rev. Fluid Mech., 6, 147-177.
- Panofsky, H.A., ve Dutton, J.A.**, (1984) Atmospheric turbulence - models and methods for engineering applications, John Wiley & Sons, New York, NY,
- Parker, S.T. ve Kinnersley, R.P.**, (2004) Computational and wind tunnel study of Particle dry deposition in complex topography, Atmos. Environ., 38, 3867-3878.
- Parmentier, B., Hoxey, R., Buchlin, J. M., and Corieri, P.**, (2002) The Assessment of full scale experimental methods for measuring wind effects on low rise buildings, COST Action C14, Impact of Wind and Storm on City Life and Built Environment, June 3-4, 2002, Nantes, France.
- Sachs, P.**, (1978) Wind forces in engineering, 2nd Ed., Pergamon Pres, Elmsford, NY,
- Sarkar, P.P., Zhao, Z.Z., ve Mehta, K.C.**, (1997) Flow visualization and measurement on the roof of the texas tech building, Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 69-71, 597-606.
- Simiu, E., ve Scanlan, R.H.**, (1996) Wind effects on structures: Fundamentals and applications to design, 3rd Ed., John Wiley & Sons Inc., New York, NY,
- Stathopoulos, T.**, (2004) Wind effect on people, proceeding of the International conference on urban wind engineering and building aerodynamics, von Karman Institute, Rhode-Saint Genese, Belgium,
- Sümerkan, M.R.**, Yapı Elemanları II, Ders Notu, KTÜ Yayın No: 14, Trabzon
- Şafak, E.**, (2012) Yüksek Yapılardaki rüzgar yüklerinin hesabı. 4. Ulusal Çelik yapılar Sempozyumu. 471, 1-27
- Tanaka, H., Tamura, Y., Ohtake, K., Nkai, M., Kim, Y.**, (2012) Experimental investigation of aerodynamic forces and wind pressures acting on tall buildings with various unconventional configurations. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 88 108, 179-191
- Tamura, T., Kuroda, M., Suzuki, M.**, (2007) Applicability of LES to the turbulent wake of a rectangular cylinder comparason with PIV data. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 95, 1242-1258

- Temel, Ü.N.,**(2013) Yan yana taşıt geçiş durumlarındaki etkileşimlerin meydana getirdiği akış yapılarının incelenmesi, Doktora Tezi, C.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Sivas,236
- Tennekes, H.,** (1973). The Logarithmic wind profile, J. Atmos. Sci., 30, 234-238.
- Tennekes, H.,** (1974). The Atmospheric boundary layer, Physics Today, 27, 52-63.
- Tominaga, Y., Mochida, A., Yoshie, R., Kataoka, H.,**(2008) AIJ guidelines For practical application of CFD to pedestrian wind environment around buildings. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics,96,1749-1761
- Tutar, M., ve Oguz, G.,** (2002) Large Eddy Simulation of Wind Flow Around Paralel Buildings with Varying Configurations, Fluid Dynamics Research, 31, 289- 315.
- Van der Hoven, I.,** (1957) Power Spectrum of Horizontal Wind Speed in the Frequency Range from 0.0007 to 900 Cycles per Hour, Journal of Meteorology, 14,160-164.
- Young, M.A.,** (1997) Effect of Open Fields on Low Building Wind Loads in a Suburban Environment, Masters of Engineering Science, The University of Western Ontario, London, Ontario
- Yüksel, A. N.** (1972) Yapılar üzerinde rüzgar tesirleri, MMLS Öğretimi Ders Notu, İ.T.Ü. Makine Fakültesi
- Westerwell, J.,** (1993) Digital Particle Image Velocimetry Theory and Applications. Delft University,



ÖZGEÇMİŞ

Kişisel bilgiler

Adı Soyadı	Deniz GÖLBAŞI
Doğum Yeri ve Tarihi	Sivas,12.12.1974
Medeni Hali	Bekar
Yabancı Dil	İngilizce
İletişim Adresi	Cumhuriyet Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Makine Eğitimi Bölümü 58140 Sivas
E-posta Adresi	dengolbasi@hotmail.com dgolbasi@cumhuriyet.edu.tr

Eğitim ve Akademik Durumu

Lise	Sivas Lisesi,1991
Lisans	Cumhuriyet Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, 1996
Yüksek Lisans	Cumhuriyet Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2003

İş Tecrübesi

Cumhuriyet Üniversitesi Öğretim Görevlisi, 1998

Yayınlar

Uluslararası

Ulusal

Kongreler ve Bildiriler

Uluslararası

Buyruk E., Gölbaşı D., “ Numerical Investigation of Double Pipe Heat Exchanger Effectiveness Depends on Different Geometry of Fouling” on the 14th Conference on Thermal Engineering And Thermogrammetry. Budapest, 22th June , 2005. /HUNGARY

Ulusal

Buyruk E., Gölbaşı D., “ Tek Geçişli Bir Isı Değiştirgecinde Paralel ve Ters Akışta kirliliğe Bağlı Etkenlik Analizi” 14. Ulusal Isı Bilimi ve Tekniği Kongresi , Isparta , 2003

Ödüller, Teşvikler ve Üyelikler

Üyelik

Makine Mühendisler Odası